



Diciembre 2017 No. 19

BIODIVERSIDAD: EL ENGRANAJE DE LA NATURALEZA

DIRECTORIO

Oikos= es financiado por el proyecto PE205017 de PAPIME.

OIKOS=, Año 1, No. 3 (septiembre-diciembre 2017) es una publicación cuatrimestral, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Unidad de Divulgación y Difusión del Instituto de Ecología, Ciudad Universitaria, Circuito Exterior S/N, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Tel. (55)5622-9002, correo electrónico: cequihua@iecologia.unam.mx, http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/. Editor responsable: Luis Enrique Eguiarte Fruns. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-111710202000-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Certificado de Licitud de Título y Contenido: en trámite, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Grupo Impreso, Domicilio Monrovia 1101 Bis, Portales, Ciudad de México, 03300. Este número se terminó de imprimir el día 29 del mes de diciembre de 2017, con un tiraje de 500 ejemplares, impresión tipo offset, con papel couché europeo mate de 100 gramos.

Distribuido por: Instituto de Ecología, Ciudad Universitaria, Circuito Exterior S/N, Delegación Coyoacán, C.P. 04510. Ejemplar gratuito.

Imagen de portada diseñada por Diego Rodrigo Ortega Díaz con imagen de David Jaramillo.

















Diciembre 2017 No. 19

Contenido



BIOLOGY OF CAM PLANTS

Desert Botanical Garden | Phoenix, AZ

April 9 – 13, 2018

This international meeting will convene a diverse group of scientists to share new discoveries on the evolution, ecology, functional biology, genomics and engineering of CAM species and traits.

THE FOLLOWING MAJOR THEMES WILL BE COVERED:

- Evolution and ecological adaptation
- Modeling CAM across functional scales
- Functional genomics
- CAM in agroecosystems
- CAM biology and ecophysiological systems

SYMPOSIUM FORMAT The symposium will combine invited talks, student lightning talks, poster sessions, and dedicated discussions and breakout sessions with the aim of integrating basic research on CAM across a wide range of disciplines including functional genomics, biochemistry, ecophysiology, ecology and evolutionary studies. A field excursion to the McDowell Sonoran Preserve (mcdowellsonoran.org) will be included.

VENUE The meeting will take place at the beautiful Desert Botanical Garden (dbg.org) in Phoenix, AZ with accommodations at nearby hotels. Transportation to the symposium will be provided for selected hotels.

Crassulacean Acid Metabolism (CAM) photosynthesis is a principal carbon concentrating mechanism in terrestrial plants and is the primary means by which land plants achieve superior levels of resource-use efficiency. As a result, CAM plants are increasingly recognized as among the world's most important crops for food, forage, fiber, fodder and fuel and as critically important foundational species in tropical sub-humid, semi-arid, and arid ecosystems.





ORGANIZING COMMITTEE:

Alberto Búrquez Universidad Nacional Autónoma de México
John Cushman University of Nevada, Reno
Sarah Davis Ohio University
Kevin Hultine Desert Botanical Garden
Raul Puente Desert Botanical Garden
Ryan Stewart Brigham Young University
David G Williams University of Wyoming

Updates, complete details and registration at:
dbg.org/cam-conference



Del director

Se nos van como arena, como agua entre los dedos…

Constantino Macías García

A lo largo de la historia, la arena y el agua se han usado para construir relojes. Las clepsidras de agua —inventadas en la Grecia clásica y populares en el mundo musulmán durante muchos siglos— y los relojes de arena dependen de un mismo principio: la inevitabilidad con la que los materiales que les dan nombre se escurren por diminutos resquicios, a un ritmo tan constante como la gravedad que lo determina. Esa característica es a la vez frustrante y fascinante, como evidencia el tiempo que perdemos los humanos, niños y adultos por igual, tratando de retener la arena de las playas en nuestros puños. Igual de desesperante, pero sin asomo de fascinación o de constancia, es la tasa a la que se nos van entre las manos especies, comunidades y ecosistemas completos. No se trata aquí de un proceso inevitable; hasta donde sabemos, nuestro planeta habrá de mantener las condiciones para sostener la vida por muchos miles de millones de años más. Tampoco es un proceso constante, sino que aumenta de manera exponencial, como lo hace la demografía humana junto con su demanda de recursos y su producción de desechos.

Muchas especies se nos van antes de conocerlas, sin siquiera haber sido descritas. Lo sabemos porque conocemos con bastante precisión el número de especies que esperaríamos encontrar en un hábitat, si no fuera destruido, a partir de lo que los biólogos llamamos curva de acumulación de especies. Esta curva describe cómo se van sumando nuevas especies conforme transcurre el tiempo en el que mantenemos un esfuerzo constante por descubrirlas. Pero a otras especies que están desapareciendo las conocemos bien, las apreciamos, nos fascinan. Un ejemplo es el jaguar, foco de una gran cantidad de esfuerzos en las américas por conocer su biología, ecología, distribución y demografía. Sin ese conocimiento sería imposible diseñar planes de conservación sensatos, o siquiera saber que tenemos que diseñar esos planes. Perder especies como el jaguar, que está en la cúspide de los depredadores donde sea que se encuentre, supone un impacto al funcionamiento de las comunidades que habita.

Un poco más grave aún es la pérdida de gremios completos, como el de los polinizadores, cuya desaparición pone en riesgo la permanencia de poblaciones de un sinnúmero de plantas y de sus consumidores, y nos priva además de servicios ambientales de los cuales depende en gran medida la supervivencia de nuestras sociedades. De nuevo, conocer cómo y porqué estamos perdiendo a los polinizadores nos capacita para desarrollar estrategias que frenen, o mejor aún, reviertan esa pérdida. En casos como el del gremio de los polinizadores, es posible pensar en cierta redundancia; ¿quizá unas cuantas especies podrían hacerse cargo de polinizar a todas las plantas del mundo?, o ¿tal vez podríamos mover polinizadores de una región a otra donde se hayan extinguido? Basta ver el éxito que han tenido las abejas melíferas en las américas.

Lamentablemente, también estamos perdiendo comunidades biológicas únicas, que ni son redundantes ni pueden preservarse a medias. Cuatro Ciénegas alberga a un ensamble de bacterias excepcional, entre otras cosas, en parte por la manera en que sus diferentes miembros logran sobrevivir en condiciones fisicoquímicas extremas gracias a la capacidad de sus metabolismos para complementarse. Entender las condiciones y los procesos que llevan al establecimiento de estas complejas interacciones entre especies de bacterias constituye un desafío conceptual fascinante y también es relevante en términos prácticos. A otra escala, es ese tipo de conocimiento el que llevó a un grupo de académicos a diseñar, promover y establecer la reserva de la biósfera de Janos. En el desierto chihuahuense, este ecosistema constituye el último bastión (sí, otro "último") del emblemático perrito de las praderas de cola negra en México.

Irónicamente, en Janos persiste, apenas, la comunidad de mamíferos que caracterizó las vastas planicies del oeste estadounidense. En Cuatro Ciénegas se secan las lagunas por el uso que los humanos hacemos del agua, en toda América quedan pocos jaguares, en México se acaban los polinizadores. La única posibilidad que tenemos de frenar, ya no digamos revertir estas tendencias, consiste en conocer. Debemos conocer la estructura de las comunidades biológicas, caracterizar la distribución, la genética y la demografía de sus especies, describir la conducta y la ecología alimenticia de sus miembros, entender los ciclos biogeoquímicos que tienen lugar en ellas. En este número de *Oikos=* tenemos probaditas de todo eso, con no pocos ejemplos de éxito que justifican tener algo de esperanza en que lograremos evitar que nuestra mayor riqueza, la biológica, se nos escurra entre las manos.





En el corazón del desierto chihuahuense, el Valle de Cuatrociénegas es un oasis en el que el agua se asoma por unas 700 pozas de variados colores y tamaños. El tesoro de Cuatrociénegas es el agua, es la riqueza que buscan los agricultores de la zona pero es también la que resguarda el secreto del origen de la vida en nuestro planeta. Fotografía: David Jaramillo.

De los editores

Ecólogos, conservación y reservas ecológicas

Luis E. Eguiarte, Clementina Equihua Z. y Laura Espinosa Asuar

Dentro de las labores del ecólogo moderno, la conservación de la biodiversidad es cada vez más importante. Y cada vez es más claro, también, el papel central que juegan las reservas y las áreas protegidas en la conservación. Con este número de *Oikos=* iniciamos una colección de ejemplos que ilustran el trabajo de los investigadores y alumnos del Instituto de Ecología en diferentes facetas, para conocer los ecosistemas y mejorar las estrategias de conservación dentro y fuera de nuestras áreas protegidas.

Comenzamos este número con un par de historias sobre Cuatro Ciénegas, un Área de Protección de Flora y Fauna en el centro del Estado de Coahuila. Este lugar es notable por su gran biodiversidad, sobre todo de especies endémicas que van desde tortugas y peces hasta bacterias. Valeria Souza y Luis E. Eguiarte, investigadores de nuestro Instituto, nos hablan de cómo toda la historia de la vida en la Tierra sigue viva en Cuatro Ciénegas, y de cómo la estamos estudiando y conservando en la medida de lo posible, involucrando activamente a los niños y jóvenes por medio de la educación científica y ambiental. Creemos que ésta es la mejor solución frente a los complejos problemas ambientales y sociales de México. Una visión diferente de la relevancia y problemas ecológicos que se estudian a largo plazo, también en Cuatro Ciénegas, nos la proporcionan Laura Espinosa Asuar y Alejandro Araujo con su novedoso enfoque de biogeoquímica y escalas ecológicas. Laura es académica del Instituto de Ecología y Alejandro es historiador; esta combinación de talentos aporta una interesante perspectiva al estudio de esta área protegida.

Otra zona de especial importancia biológica, también en el norte de México, es la región de Janos en Chihuahua. En este lugar el Instituto ha estudiado la conservación y ecología de diferentes mamíferos, desde los más grandes, como el bisonte y el berrendo, hasta pequeños, como el perrito de las praderas y el puercoespín. Eduardo Ponce, Rodrigo Sierra, Jesús Pacheco y Gerardo Ceballos, académicos de nuestro Instituto, nos hablan de la historia natural y la conservación de esta fascinante área protegida.

Pero la conservación no sólo se debe procurar en las áreas protegidas, sino a todo lo largo del territorio nacional. Un importante problema actual de conservación para los ecosistemas es la llamada crisis de los polinizadores: las poblaciones de polinizadores, sobre todo de abejas, se han reducido recientemente en diferentes partes del mundo, y México no parece ser la excepción. Al haber menos polinizadores, muchas flores no son fertilizadas y así las plantas producen menos o ningún fruto. Esto impacta tanto a las especies silvestres como a la cultivadas que dependen de la polinización realizada por los animales. Emiliano Mora, alumno de nuestro Instituto, describe este preocupante tópico y explora las posibles repercusiones de esta crisis en la producción de alimentos en México.

Otra forma de ver la conservación es enfocarnos en especies carismáticas. Y ¿qué mejor especie que el jaguar? El Instituto de Ecología ha liderado por muchos años los estudios sobre la ecología y conservación de esta especie tan importante en numerosos ecosistemas mexicanos. César Domínguez, investigador del Instituto y colaborador muy estimado de esta revista, nos reseña, junto con Esmeralda Osejo estudiante de lenguas inglesas de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, un libro de reciente aparición, escrito por distintos autores y editado por personal del Instituto de Ecología.

En este número también hemos incluido una interesante contribución sobre diferentes aspectos ecológicos de la alimentación de los animales, un tema que integra ramas ecológicas y conductuales a lo que conforma un campo emergente llamado ecología nutricional; Alicia Reyes y Alex Córdoba, también del Instituto, detallan diferentes perspectivas en este campo de la ecología moderna.

En el siguiente número de nuestra revista *Oikos=* continuaremos presentando la investigación ecológica que se realiza en las diferentes reservas y áreas protegidas del país, donde los trabajos de investigadores y alumnos de este Instituto y de otros centros de investigación hacen una diferencia para protegerlas y comprenderlas a partir de la investigación científica.

Agradecimientos

Los editores quieren agradecer profundamente al proyecto PE205017 de PAPIME DGAPA, UNAM. Con este proyecto hemos podido mejorar nuestra revista e imprimirla.



Artículo

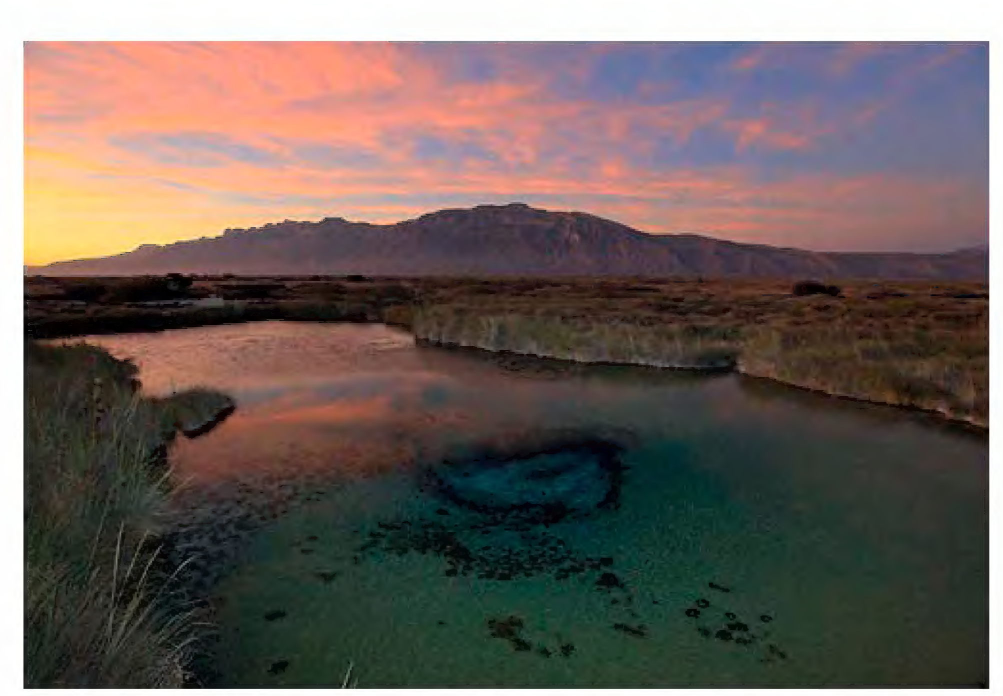
Cuatro Ciénegas, el lugar que guarda la historia del "érase una vez"

Valeria Souza y Luis E. Eguiarte

Tomado de la ponencia presentada en el *Encuentro ConCiencias por la Humanidad*, en San Cristóbal de las Casas, Chiapas. 27 de diciembre de 2016.

Les queremos hablar de un lugar extraordinario que nos ha tocado estudiar, entender y proteger de la codicia y el mal manejo del agua. En este sitio extraordinario, hemos visto que la regla del juego para las comunidades de organismos vivos parece ser la cooperación y no la competencia. Ese lugar se llama Cuatro Ciénegas y se encuentra en el desierto de Coahuila. Es un valle en forma de mariposa, que se ve blanco desde el espacio por su riqueza en yeso. Lo interesante de este oasis es que, a pesar de ser uno de los sitios con menos nutrientes de que se tenga conocimiento (razón por la cual un biólogo esperaría que tuviera muy poca diversidad), probablemente es el sitio con mayor diversidad biológica del mundo. Para poder entender las causas de esta diversidad de organismos y de la cooperación entre sus comunidades, hay que empezar la historia por el principio. O, más bien, mil millones de años después del principio; hace unos 12 mil millones de años. En ese momento, al formarse las primeras galaxias, empezaron las explosiones de las primeras supernovas y así se formaron los elementos necesarios para la vida. El polvo de estrellas, producto de las explosiones cósmicas, es, junto con la luz, la materia prima de todo lo que somos.

Entre los elementos esenciales que se formaron está el fósforo, que por ser de tamaño molecular pequeño debería ser abundante (mientras más pequeños, los elementos son más abundantes), pero en realidad es escaso en los planetas y por lo general se encuentra "enjaulado" entre átomos de calcio que lo estabilizan (ya que es muy explosivo; por eso se hacen cerillos o fósforos con él). También se formó el agua, la molécula clave para la vida, que es una de las moléculas más abundantes del universo (junto con el H_2, el hidrógeno molecular) y por lo general se encuentra en forma de hielo en el polvo cósmico y en los cometas y meteoritos, en los cuales las partículas de agua

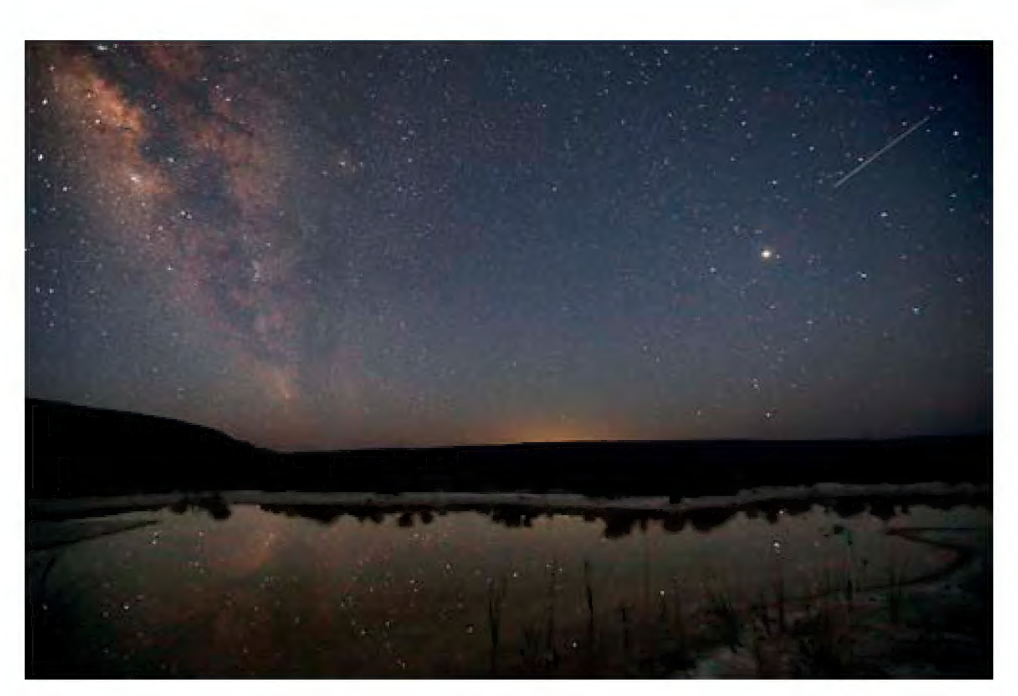


La belleza iridiscente y multicolor de las pozas de Cuatro Ciénegas se debe principalmente a la presencia de una gran variedad de bacterias. Fotografía: David Jaramillo.

congelada están llenas de materia orgánica formada con la energía de las estrellas.

Hace unos 5 mil millones de años, nuestro Sol acababa de nacer y el polvo de estrellas y el agua contenida en éste estaban formando planetas. En ese caótico inicio, nuestro planeta nació como el tercero del Sistema Solar. Entonces era más pequeño de lo que es actualmente, y había perdido casi toda su agua por evaporación. Sin embargo, como las órbitas del Sistema Solar no estaban del todo delimitadas, un grupo de astrónomos postuló la hipótesis de que un planetoide al que se ha llamado Theia colisionó con la joven Tierra, hace 4.31 mil millones de años. Theia dio origen a la Luna y nos regaló más agua al fusionarse con nuestro planeta; así, a partir del impacto, la Tierra obtuvo el doble de masa y un corazón radioactivo caliente; el corazón que mueve nuestro planeta, provoca terremotos y permite un constante flujo




En las estrellas que se reflejan en las noches de Cuatro Ciénegas, podemos evocar el pasado estelar y meteórico de nuestro mundo. Fotografía: David Jaramillo.

de materia entre el núcleo de metal fundido y la corteza, esa piel que nos contiene a todos los seres vivos.

Lluvia para la vida

Los datos fósiles nos indican que la vida tuvo que haber iniciado tan pronto como llovió. Las primeras lluvias crearon el mar ancestral de la Tierra. En ese primer mar, cerca del magma y en las arcillas de un planeta todavía caliente, evolucionó la vida. Aún no sabemos a ciencia cierta cómo sucedió, pero es muy posible que haya habido miles o millones de "experimentos de vida", surgidos por la evolución química que se da cuando sobre las arcillas se acumulan moléculas cada vez más y más complejas, cargadas con la energía del magma y de los meteoritos. Gracias a la comparación de la información genética (ADN y ARN) de todos los seres vivos conocidos, actualmente sabemos que sólo uno de estos experimentos de vida sobrevivió. Ese experimento eligió al fósforo como elemento clave para su estructura, probablemente por su naturaleza explosiva. Sin fósforo no hay energía química (trifosfato de adenosina o ATP) ni información (ácido desoxirribonucléico o ADN y ácido ribonucleico o ARN), de modo que, para poder copiar y traducir esa información, este experimento utilizaba la energía contenida en su propia estructura. Al analizar los genes más antiguos, comunes a todos los seres, concluimos que esta semilla de vida ya tenía la información necesaria para comer y tener descendientes iguales a ella, y se alimentaba de los azúcares, aminoácidos y grasas de la sopa de meteoritos y cometas que enriquecían constantemente el mar de la Tierra primitiva (si lo dudan, volteen a ver al conejo en la luna, producto de esa época de fuerte bombardeo).

Un pedazo de grafito dentro de un cristal de circonio atrapado en una roca de hace 4.1 mil millones de años, proveniente de Sudáfrica, nos da la primera pista acerca de lo que pasó cuando la vida consumió los recursos acumulados en la sopa de cometas (ver 4.1 Billion Year Old Australian Zircon Contains Graphite of Biological Origin, Study Claims). La vida dejó su huella al usar alguno de los isótopos de los elementos de la vida (es decir, usando el mismo elemento, pero con distinto número atómico), y esa huella demuestra que los seres vivos primigenios empezaron a utilizar (comer) otras formas de los elementos, no sólo los productos de la sopa original. En particular, comenzaron a tomar el carbono de la atmósfera (CO_2) y a unirlo con el hidrógeno de las arcillas, para construir por sí mismos los primeros azúcares de origen totalmente "terrestre". Estos organismos primitivos aún existen: son las bacterias llamadas metanógenas, las cuales forman un lodo negro que, aunque pestilente, representa a nuestros ancestros vivos más remotos.

Poco tiempo después (unos cuantos millones de años, pero poco en términos geológicos) se comenzaron a armar las comunidades microbianas que construyeron los engranajes del "reloj de la vida". Este reloj es la maquinaria de la cual dependemos todos, capaz de mover todos los elementos que nacen en las supernovas y de obtener de ellos la energía y todo lo necesario para construir las células. Lo más sorprendente en la historia de nuestro planeta no es que la vida se haya originado (lo cual es notable en sí mismo), sino que haya sobrevivido a los meteoritos que caían, a los volcanes que hacían erupción repentinamente, a los rayos cósmicos y a tener una cantidad de fósforo limitada. La vida en la Tierra es persistente, y al evolucionar creó todo tipo de estrategias para extraer fósforo de las rocas y reciclarlo de manera muy eficiente. A través del tiempo, los seres vivos se han ido adaptando por selección natural y han logrado sobrevivir a todos los retos que les pone el ambiente; así han desarrollado la capacidad de comer, crecer y tener descendencia. Esa es la fuerza fundamental que mueve la vida, tanto de forma cotidiana como a lo largo de las eras geológicas.


En esta toma satelital se aprecia la forma de mariposa del Valle de Cuatro Ciénegas, así como la blancura del yeso del desierto y la forma de la sierra que atraviesa el valle. Fotografía: NASA Earth Observatory.



En esos tiempos remotísimos en los que sólo existía la vida unicelular, bacteriana y microscópica, no sólo era difícil obtener fósforo, sino que no había oxígeno molecular (es decir, no había oxígeno "libre"; en la Tierra sólo existía el oxigeno como parte del agua) y, por lo tanto, el planeta no tenía una capa de ozono que protegiera a la vida de la luz ultravioleta (y esta luz puede ser letal, ya que destruye el material genético; el ADN). En esas circunstancias, los seres vivos se refugiaban debajo del agua, la cual era anaranjada por ser rica en sales y azufre. La Tierra también era anaranjada y estaba llena de neblina, pero una neblina que resultaría tóxica para nosotros, ya que era rica en compuestos de azufre (S), nitrógeno (N) y bióxido de carbono (CO_2). Hay que recordar que, en un inicio, la Tierra era un mundo de volcanes; de hecho, no había continentes. Tuvieron que pasar 2 mil millones de años para que el agua atrapada en el magma saliera por los volcanes, formara nubes y causara las tormentas que, cual diluvio universal, dieron origen al mar profundo.



En el valle aún hay pozas cuyo alto contenido de azufre les confiere una particular coloración anaranjada. Fotografía: David Jaramillo.

Por lo tanto, en el inicio, la vida habitaba los mares poco profundos, en comunidades de bacterias de colores ordenadas de manera vertical, por antigüedad y forma de obtener energía (ver *Azufre: elemento incomprendido de la biogeoquímica planetaria* y *La larga marcha del oxígeno en la Tierra* en *Oikos*= 16). Las capas de abajo eran las más antiguas y de crecimiento más lento (las metanógenas), después estaban las bacterias que comían azufre e hicieron las primeras fotosíntesis (eran cafés y transparentes, y también sabían tomar nitrógeno del aire y convertirlo en proteínas). Como estrategia de adaptación para sobrevivir a la luz ultravioleta, ciertas bacterias desarrollaron los pigmentos que permiten "rebotar" dicha luz, gracias a lo cual pudieron vivir en la superficie del mar. A partir de estos pigmentos que funcionaban como "paraguas" contra el sol, surgieron las primeras "antenas" solares que, en lugar de rebotar la luz, la capturaban para obtener energía química y fabricar más azúcares. Así nació la primera versión de la fotosíntesis, llamada fotosíntesis anoxigénica (es decir que no rompe el agua ni produce oxígeno) realizada por pigmentos púrpura y verde oscuro. Se le llama bacterias verdes del azufre y bacterias púrpuras del azufre porque la energía del Sol era capturada por este elemento, abundante en el planeta primitivo. Las primeras bacterias fotosintéticas utilizaban longitudes de onda de baja frecuencia, por lo que crecían lentamente, sin prisa, como todas las demás de su comunidad. Como era de esperarse, las bacterias que usaban la luz se acomodaron arriba de las que comían azufre e introdujeron otros "engranajes" en el "reloj", ya que, a la vez que podían fabricar más azúcares y proteínas, también podían compartir estos productos con el resto de la comunidad a cambio de otros nutrientes que ellas no podían producir a partir de la luz del Sol.

Pero no todo era "miel sobre hojuelas"; desde un inicio, la lucha por la comida podía volverse feroz. Las bacterias de una comunidad tenían que defender su alimento de los oportunistas que quisieran robarlo sin cooperar, por lo que surgió una gran cantidad de estrategias para defender lo propio de los extraños. Así nacieron los primeros antibióticos, sustancias que literalmente son capaces de disolver a sus enemigos y, de paso, robarles los elementos con los que están construidos; en particular su valioso fósforo.

Hace unos 3.5 mil millones de años aconteció algo totalmente nuevo. Por primera vez, evolucionó una bacteria que podía tolerar el oxígeno; posiblemente vivía cerca del magma, donde el calor rompía el agua y liberaba los dos gases que la conforman, y eso le permitió desarrollar resistencia a este elemento. Para las otras bacterias, el oxígeno en forma de gas es un veneno mortal, muy rápido y efectivo. Es probable que esa bacteria tuviera ya información para distinguir el día de la noche (las moléculas que detectan el ciclo circadiano son muy antiguas), para poder vivir de noche cerca del calor magmático y usar oxígeno, y de día subir (con burbujas de helio, cual globo) a buscar la luz del sol con su "antena" primitiva. Sin embargo, por razones que aún no entendemos, una sola de estas bacterias "viajeras" adquirió dos sistemas "mejorados" de antenas solares, que captaban luz de alta energía, una azul y otra verde. Estas antenas estaban acopladas en la membrana y funcionaban en una especie de relevos; una de ellas, además de capturar la energía del Sol, recibía la energía de la otra.

Este evento, que podría haber sido minúsculo y local, causó una verdadera revolución planetaria, ya que la antena azul atrae tanta energía solar que rompe el agua a su alrededor y libera al oxígeno de sus enlaces con el hidrógeno. En sus inicios, esta innovadora mutante era una sola bacteria, pero, como el invento no la mató, tuvo una gran descendencia, ya que, además, esas dos antenas le permitían crecer más rápido que las demás. Pero aquí viene algo interesante: recordemos que el resto de la vida había estaba adecuado a un mundo sin oxígeno, por lo que las bacterias verde-azules podrían haber envenenado a todas las demás. Sin embargo, las comunidades se



habían ensamblado capa por capa, tarea por tarea, en un orden dictado por la selección natural. Las cianobacterias; es decir, las bacterias que rompían el agua e inventaron la fotosíntesis verde-azul evolucionaron en la capa de arriba y las de abajo de ellas, las fotosintéticas púrpuras, podían atrapar ese veneno, unirlo al azufre y convertirlo en comida para las demás. La clave era —y sigue siendo— la cooperación: ninguna de estas bacterias puede vivir sola; todas se necesitan. Fue así como se armó el último engranaje de la vida y se aprendió a utilizar todos los elementos fundamentales de la vida: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo y Azufre (CHONPS). Sin estos elementos no se podrían construir células. En estas comunidades surgieron, también por cooperación, los primeros protozoarios (amibas y paramecios), las primeras algas y los primeros hongos; éstos últimos similares, quizá, a las levaduras actuales. Sin embargo, no podían prosperar porque las condiciones del mar no les eran favorables, de modo que con el tiempo cambiaron su información genética, acumularon posibilidades de cambio y esperaron cientos de millones de años. Estas comunidades dejaron su huella fósil por todo el mundo, y por 3 mil millones de años fueron la única forma de vida que existió; les gustaban las playas y los mares poco profundos, ya que necesitaban agua, luz y azufre.

Mientras tanto, los primeros continentes se elevaron y cambiaron la faz de la tierra, y se empezaron a mover junto con las placas tectónicas. Al mismo tiempo, el oxígeno que producían las bacterias fotosintéticas se fue escapando al aire burbuja por burbuja y, después de casi 2 mil millones de años, la atmósfera se empezó a poner azul a causa de este elemento gaseoso. Sin embargo, el mar seguía siendo rico en ácido sulfúrico, y era anaranjado porque aún no tenía oxígeno disuelto. Hasta que, hace alrededor de 800 millones de años, se rompió el primer super continente de la Tierra, llamado Rodinia, y eso les dio más playa a los estromatolitos, que es el nombre que se les da a estas comunidades bacterianas con capas de colores cuando se vuelven rocas (en estos estromatolitos, cuando están vivos, la capa superior está compuesta por bacterias vivas, y lo demás es roca formada por el calcio que éstas precipitan). Estos eventos ocasionaron un nuevo cambio climático y atmosférico global, ya que las bacterias fotosintéticas de todos colores usan el CO_2 de la atmósfera para construir sus cuerpos.

Al disminuir la cantidad de CO_2 en la atmósfera, también descendió la temperatura de todo el planeta, debido a que este compuesto es un gas invernadero. El mundo se congeló y los glaciares, al moverse poco a poco, rasparon las rocas y liberaron el fósforo encerrado en ellas. Después comenzó a descongelarse y el agua del deshielo, rica en oxígeno y fósforo, llegó a las playas; justo lo que necesitaban las algas y otros organismos microscópicos más complejos que las bacterias, como los protistas (los ancestros unicelulares de los animales) y los hongos primitivos. Estos primeros organismos complejos pudieron capturar más CO_2 en sus cuerpos, por lo que comenzaron a crecer rápidamente. Con este uso del CO_2, el planeta se volvió a enfriar y de nuevo se congelaron los continentes; más oxígeno y fósforo quedaron capturados en el mar, y esto precipitó aún más el crecimiento de las algas microscópicas.



Los estromatolitos de Cuatro Ciénegas se enfrentan a las sequías y la degradación del ecosistema, lo que hace peligrar una historia de millones de años de vida. Fotografía: David Jaramillo.

Al final de estos ciclos de congelamiento y deshielo, el mar se convirtió en los océanos azules que conocemos actualmente, en los cuales evolucionaron los primeros organismos pluricelulares, tanto los que sobreviven hasta nuestros días (animales, plantas, hongos) como otros linajes ya extintos. Estos organismos complejos usan oxígeno para respirar (las plantas que respiran de noche también lo utilizan) y requieren mucho fósforo para crecer.

Paradójicamente, gracias a su propia actividad, las bacterias que forman estromatolitos vieron el fin de su era, ya que los primeros animales herbívoros se los comieron y las algas que competían con ellos les taparon el sol y usaron el fósforo que necesitaban. Todavía se pueden formar estromatolitos si las condiciones ambientales son propicias; es decir, si hay azufre, sol, agua y, sobre todo, si no pueden crecer las algas, pero esto es relativamente raro.

Sin embargo, existe un solo lugar en el mundo en el que subsistieron los descendientes directos de toda esta historia; los formadores de comunidades de colores que transformaron a este planeta en un planeta azul. Este lugar es, precisamente, el oasis extraordinario de Cuatro Ciénegas. En realidad, aprendimos mucho de la historia que les acabamos de contar gracias a los estudios que hemos hecho con las comunidades microbianas de este sitio. Estas comunidades forman tapetes de colores que se convierten en estromatolitos (cuando los tapetes se vuelven duros por precipitar carbonato de calcio), y viven en aguas similares a las de los mares del Precámbrico (la era de los estromatolitos): pobres en fósforo, ricas en minerales, con una fuente profunda de magma (que, al levantar la sierra, formó el "cuerpo" del valle con forma de mariposa) y, por lo tanto, de azufre. Lo que es extraordinario es que en Cuatro Ciénegas se ha conservado por cientos de millones





El Valle de Cuatro Ciénegas está en el noreste de México, en medio del estado de Coahuila. Imagen modificada de: https://goo.gl/cJ12kr

de años esta "ingeniería original" que nos muestra los engranes del "reloj de la vida", así como todas sus armas de batalla (antibióticos y toxinas) contra los organismos que no evolucionaron con ellos; es decir, las bacterias sedientas de nutrientes que nos enferman (éstas, en lugar de ser cooperativas, quieren quedarse todos los nutrientes para sí mismas). Como ya mencionamos al principio, este es, posiblemente, el lugar más biodiverso del mundo, principalmente en cuanto a especies microscópicas (ya que ha tenido mucho tiempo para acumular especies), y sin duda es un sitio con gran potencial para el desarrollo de fármacos y de biotecnología sustentable.

En la actualidad se trabaja en esta clase de desarrollo y, dado que México forma parte del Protocolo de Nagoya, cualquier beneficio que se obtenga a partir del material genético de cualquier criatura de Cuatro Ciénegas, tanto aquí como en el extranjero, debe compartirse con el país y con la comunidad que brinda acceso a estos organismos.

Nosotros podemos decir con tranquilidad que Cuatro Ciénegas es una especie de "arca de Noé" porque hemos secuenciado el ADN de sus comunidades y de las bacterias que podemos cultivar (es decir, sólo hemos secuenciado el 1% de su diversidad). Al comparar este ADN con el de sus parientes modernos más cercanos, encontramos que estas bacterias se separaron de sus hermanos del mar hace millones de años. Es como si únicamente en este valle en forma de mariposa se hubiera guardado la historia original o el "guión" para vivir con escasez de fósforo. Sus aguas son las más pobres en este elemento que se conocen, mientras que en el resto del mundo la vida se volvió "golosa" y desperdiciadora del elemento fundamental.

Más de 150 científicos, principalmente mexicanos, hemos estudiado juntos Cuatro Ciénegas, pero también como comunidad tenemos una lucha contra el tiempo y contra la ignorancia, ya que este paraíso que sobrevivió a todo está en peligro de perderse si se secan sus pozas, que se usan para regar alfalfa en el desierto por medio de inundación.

Los científicos que tienen el papel más crucial en Cuatro Ciénegas son los jóvenes del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario número 22 (CBTA 22). Estos jóvenes tienen un laboratorio de biología molecular y cuentan con las herramientas necesarias para entender los secretos del oasis en el que nacieron; también están aprendiendo agricultura sustentable y estudian la forma de reciclar especies invasoras de peces y convertirlas en alimento para los marranos. Queremos que sean los niños y los jóvenes de este lugar extraordinario quienes salven el paraíso, ya que pueden darle un valor agregado enorme a sus pozas color azul Caribe si son ellos mismos quienes desarrollan la biotecnología, las soluciones sustentables para la agricultura y los fármacos. Esto nos puede sacar de este atolladero dominado por los monopolios biotecnológicos internacionales.



Investigadores y alumnos del Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Instituto de Ecología de la UNAM haciendo trabajo de campo en el Valle de Cuatro Ciénegas. Fotografía: David Jaramillo.

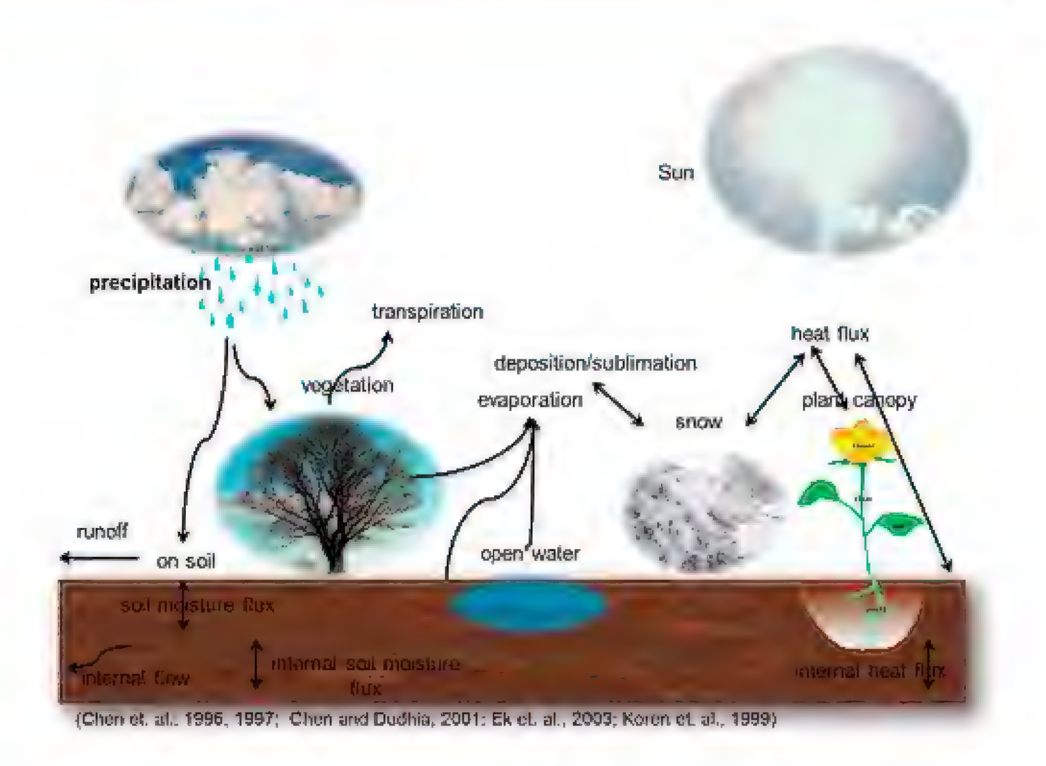
Tenemos razones para ver ese futuro posible. Varios alumnos de este bachillerato ya están afinando ese conocimiento en distintas universidades, y uno de ellos está haciendo su doctorado estudiando un linaje de bacterias que parece tener el potencial para combatir el cáncer y producir cientos de antibióticos. Queremos darles una universidad con posgrado y llevar maestros de todo el mundo para que trabajen con ellos en todas esas posibilidades. Algo que ya se hace en el CBTA 22 es que todos los investigadores que van a estudiar las pozas y sus misterios tienen que explicarles a los jóvenes qué es lo que están haciendo y por qué lo hacen. Gracias a este formidable trabajo tenemos el inventario con el nombre y las semejanzas entre las distintas especies de seres vivos del lugar, desde los virus hasta los coyotes, pasando por los hongos, las bacterias, los protozoarios, las ranas, los peces, las tortugas, los caracolitos y los crustáceos, todos ellos únicos de este sitio extraordinario.

En el camino estamos tratando de transformar conciencias, que son la base para salvar este oasis primigenio. Los niños son un gran agente transformador del futuro, y para algunos de



nosotros son una de las razones que nos alientan a ser mejores. Empezamos a trabajar con los más pequeños en 2007, cuando inició un proyecto de educación ambiental a través del arte; en éste se concibe el arte como una manera de entender el entorno y como conciencia de la naturaleza. Los niños que pasaron por este sencillo programa en la primaria llegaron mucho más dispuestos a explorar y aprender cosas nuevas en el bachillerato que los jóvenes con los que empezamos a trabajar en 2004. Ahora los maestros y la SEP tienen el reto de seguirles el paso a sus alumnos. En el presente, los jóvenes del CBTA 22 son maestros de ecología, sustentabilidad y ajedrez de los chicos de secundaria. Para nosotros, lo más importante de este "experimento social" es que estos niños están cambiando a su vez la conciencia ecológica de sus padres y sus abuelos. El cambio se está dando y, como siempre, queremos más.

Durante seis años, se llevó a cabo el inventario total de la vida en el sistema hidrológico del Churince, una representativa poza de Cuatro Ciénegas, con la finalidad de entender cómo funciona este "todo" antes de que desaparezca por la sobreexplotación del acuífero, y de intentar salvarlo en el camino. Lo que hemos encontrado hasta ahora es que se trata de un ecosistema marino en su origen, que conservó viva la huella de ese pasado marino gracias a la cohesión de sus comunidades. Es por eso que las comunidades de bacterias son locales y diferentes entre sí, aunque se encuentren a tan solo unos metros de distancia unas de otras. Dentro de cada comunidad microbiana todo está tan perfectamente ordenado y sincronizado que los forasteros no son bienvenidos; no conocen las reglas y por lo tanto se convierten en comida. Por eso estos organismos resistieron al movimiento de los continentes y a la extinción de los dinosaurios y de casi toda la vida terrestre en el Cretácico. Sobrevivieron al levantamiento del altiplano central y de las sierras a su alrededor, sobrevivieron en el desierto bajo el agua y bajo el sol, como una isla de vida ancestral rodeada por un mundo rico en nutrientes. Han sobrevivido a todo, menos al manejo irracional del agua y a la codicia humana. Por eso es que estamos haciendo



Mapa de los procesos básicos que componen un ciclo hidrológico. Imagen modificada de: https://goo.gl/oMYR7g

una revolución de conciencias, dándole el arte y la ciencia a los dueños de la tierra, a los dueños del futuro.

Por último, cabe decir que sería maravilloso utilizar la lección de coexistencia y cooperación de estas humildes pero persistentes comunidades microbianas al momento de pensar en nuestras sociedades y en nuestra economía. Retomemos la idea de coexistencia y cooperación en estos momentos críticos para el planeta y para la humanidad. Retomemos las lecciones de la vida al borde del abismo y trabajemos juntos por el futuro.

Valeria Souza. Es investigadora del Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Departamento de Ecología Evolutiva. Estudia la ecología evolutiva de los microorganismos. Su trabajo ha sido reconocido con diversos premios nacionales.

Luis E. Eguiarte. Es investigador del Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Departamento de Ecología Evolutiva. Estudia la ecología y evolución de las plantas, bacterias y animales de México, usando marcadores genéticos. Es editor de *Oikos*=.

Para saber más

- CONANP. Área de protección de flora y fauna Cuatrociénegas: "El humedal más importante del desierto chihuahuense". Sitio oficial. http://cuatrocienegas.conanp.gob.mx/
- SEMARNAT. Cuatrociénegas, área de protección de flora y fauna. 2016. https://goo.gl/uG4P3z.
- Guerrero Mothelet V. 2007. Cuatrociénegas, laboratorio de la evolución. Revista *¿Cómo ves?* 101: 10-15.
- Souza, V., A. Escalante, E. Espinoza, A. Valera, A. Cruz, L.E. Eguiarte, F. García-Pichel y J. Elser. 2004. Cuatro Ciénegas: un laboratorio natural de astrobiología. *Ciencias*, 75: 4-12.



Artículo

Biogeoquímica en Cuatro Ciénegas: mundos dentro de mundos y miradas a escala

Laura Espinosa-Asuar y Alejandro Araujo

> Diversidad. Una ciudad, un campo, de lejos una ciudad y un campo; pero, a medida que uno se acerca, son casas, árboles, tejas, hojas, hierbas, hormigas, patas de hormigas, hasta el infinito. Todo esto se encierra bajo el nombre de campo.
>
> Blaise Pascal

A lo largo del tiempo, el desierto ha sido referencia constante para evocar e inspirar múltiples imágenes: tierra de fantasías, lugar de ermitaños y anacoretas, espacio en el que la vida se imagina instalada en una eternidad cíclica. En contraste con la vida social, con los espacios urbanos e incluso rurales, los desiertos han sido siempre lugares en los que la naturaleza obra por cuenta propia.

No es de extrañar. Los desiertos son islas biológicas que han permanecido relativamente inaccesibles al control humano y por lo mismo han generado procesos de aislamiento que hacen surgir formas únicas de vida; plantas extrañas y animales exóticos con enmarañadas y caóticas formas de desarrollo y crecimiento; y aparecen patrones regulares ahí donde la vida engendra vida, donde la naturaleza muestra la fuerza de su autoproducción. Por ello, quizá, los desiertos son territorios que impactan la mirada y producen experiencias estéticas inigualables, en las que el ojo humano se deja sorprender por la grandeza de la naturaleza, por la magia de la existencia pura de la vida. En México, en el imponente Desierto Chihuahuense, podemos encontrar una de esas bellezas de la naturaleza, conocida como el Valle de Cuatro Ciénegas.

Ahora es posible estudiar la larga historia evolutiva de este territorio, que se mantuvo aislado de la influencia humana durante siglos, gracias al trabajo de colaboración e interacción de distintas disciplinas científicas que se ha estado realizando en el valle durante ya un poco más de diez años. La *biogeoquímica* es una rama de estudio que ejemplifica este trabajo conjunto. El término combina las raíces griegas de tres ciencias que relacionan el estudio de la vida (biología), de la tierra (geología) y de la materia y sus propiedades (química). La *biogeoquímica* se ha propuesto describir el vínculo que se establece entre los seres vivos y la composición de la tierra, con sus elementos orgánicos e inorgánicos.



Vista aérea de algunas pozas del Valle de Cuatro Ciénegas, en medio del desierto chihuahuense. Fotografía: David Jaramillo.

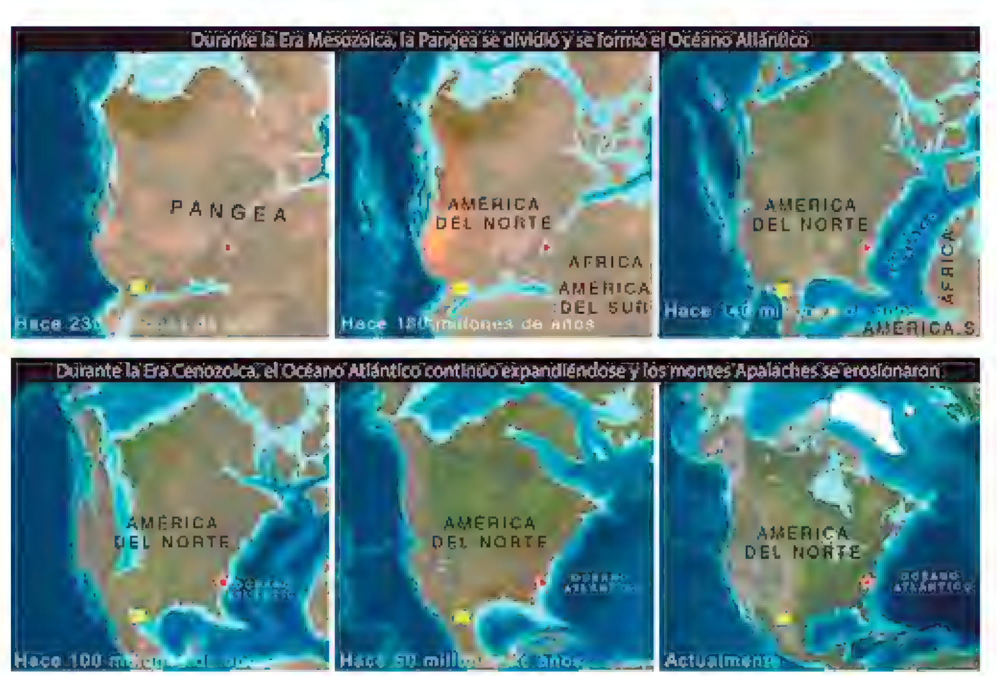
La biogeoquímica estudia, por ejemplo, la manera en que se mueven y desplazan en la tierra los distintos elementos (carbono, nitrógeno, fósforo, por mencionar algunos) y las transformaciones químicas en las que están involucrados cuando forman parte de los seres vivos y cuando se encuentran en aquello que no tiene vida, como la atmósfera, el suelo o el agua. Estos procesos de movimiento e interrelación son cíclicos; es por eso que los elementos están disponibles para ser usados una y otra vez por los diversos organismos que habitan la tierra. La vida, por tanto, es producto de estos ciclos (llamados *ciclos biogeoquímicos*), que van estableciendo las condiciones que permiten la producción y reproducción del sistema.

En tiempos recientes, muchos de estos ciclos se han ido alterando de manera exponencial. En Cuatro Ciénegas, en particular, el ciclo del agua se ha alterado debido a la sobreexplotación de los acuíferos de la zona. Al modificar el ciclo





del agua, otros ciclos de otros elementos o nutrientes también se alteran. El efecto dominó se produce de manera dramática en estos espacios, como lo demostró Esmeralda López Lozano en 2012, cuando reportó que en las zonas del suelo de Cuatro Ciénegas con menor humedad el funcionamiento del ciclo del nitrógeno también era menor. Esto hace necesario estudiar con detenimiento estas alteraciones de elementos o nutrientes y, sobre todo, los efectos que producen en el funcionamiento regular de la zona. Sólo un estudio integral que dé cuenta de la complejidad de la estructura del sistema, tal como se ha estado haciendo en el proyecto Cuatro Ciénegas, puede ayudarnos a formular estrategias de conservación que contribuyan a mantener el equilibrio de ciclos con tan enorme interacción.



Historia geológica de la Tierra. Las estrellas rojas señalan la posición aproximada, durante diferentes eras geológicas, de lo que en la actualidad forma el límite del mar Atlántico. Los cuadrados amarillos señalan la posición aproximada de Cuatro Ciénegas. Imagen: National Park Service, US. Modificada de https://goo.gl/5wKXMw

Algunos seres vivos (como las plantas leguminosas o las cianobacterias, entre otros) tienen la capacidad de *fijar el nitrogeno*, es decir, convertir el gas nitrógeno (no asimilable para los seres vivos) en amonio, una forma del nitrógeno que los seres vivos pueden utilizar como nutriente.

Escalas y biogeoquímica

Para estudiar los procesos biogeoquímicos, los científicos se han esforzado mucho con el fin de identificar y conformar distintas aproximaciones de estudio, ya que los fenómenos de movilización, transporte y deposición de elementos y nutrientes suceden en escalas espaciales y temporales diversas.

Por ejemplo, existen fenómenos que suceden desde hace miles de millones de años (a esto le llamamos escala geológica) que nos ayudan a entender algunas estructuras que se han venido formando en periodos de larguísima duración y que permiten comprender el funcionamiento actual del valle. De acuerdo con las teorías geológicas sobre la formación de la tierra se piensa, por ejemplo, que hace cuando menos 230 millones de años Cuatro Ciénegas pudo haber formado parte de la costa, o pudo incluso haber estado bajo el agua. En el valle se han descrito algunos organismos, desde bacterias hasta camarones, que tienen cierta similitud con especies marinas; ¿será que esta huella marina ha logrado permanecer en el valle desde entonces?

En ecología, el concepto de *escala* puede definirse como las dimensiones espacial y temporal en las que ocurren cambios en distintos procesos (por ejemplo, cambios en cierta población o en un ecosistema determinado). Al estudiarlas es posible entender cuáles son los factores que afectan a estos procesos.

Sin embargo, existen ciclos mucho más breves, organizados en escalas de meses, incluso días. Se han realizado, por ejemplo, estudios sobre el nitrógeno en el valle durante periodos muy breves. Luisa Falcón en el año 2007 describió un proceso llamado *fijación del nitrógeno* en algunos estromatolitos que viven en las pozas del valle (ver *¿Qué son los estromatolitos?* en *Oikos*= 2), durante ciclos de un día y una noche.

Los fenómenos también pueden suceder en escalas espaciales, en áreas de estudio que abarcan kilómetros, metros o centímetros: los sitios con arbustos en el desierto se estudian en escalas de varios metros, pues los nutrientes se concentran cerca de las plantas y la separación entre arbustos es, precisamente, de varios metros. En cambio, en las praderas de pastizales la escala de estudio puede ser de centímetros, que es el espacio que hay entre cada tallo o grupos de tallos. En Cuatro Ciénegas se han estudiado escalas aún más pequeñas. El grupo de Felipe García Oliva y Yunuén Tapia ha descrito escalas tan pequeñas como las microscópicas, en las que descubrieron que organismos pequeñísimos (microorganismos) pueden vivir en condiciones muy limitadas de elementos (C, N y P). Estas condiciones limitadas se han encontrado en los suelos y cuerpos de agua del valle.

También hay otras escalas que es posible estudiar. La *estequiometría* estudia las proporciones de elementos en la composición química de los seres vivos, y las mediciones estequiométricas permiten analizar diversos asuntos. Por ejemplo, Jim Elser y sus colegas en 2006 demostraron con estudios estequiométricos que en Cuatro Ciénegas los seres vivos que forman parte de las cadenas alimenticias en el agua de las pozas (en este caso los caracoles que se alimentan de estromatolitos) están extremadamente adaptados y restringidos a la variación en las proporciones de nutrientes del lugar; esto permite suponer que no podrán sobrevivir si las condiciones ambientales cambian. En este año, este mismo grupo demostró que la variación estequiométrica de los nutrientes produce cambios significativos en las comunidades bacterianas.



Caracol de lodo de Cuatro Ciénegas (*Mexithauma quadripaludium*), especie endémica del Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Fotografía: © Isaí Domínguez Guerrero.

Mundos dentro de mundos

Desde hace varios años, los seres humanos sabemos que los seres vivos mantienen una relación estrecha con su ambiente; que conforman un mundo integrado. El análisis de los ciclos biogeoquímicos nos deja ver que este mundo está compuesto de mundos; de ciclos más o menos autónomos que se relacionan de manera compleja para generar condiciones de equilibrio y de estabilidad. Tierra, vida, elementos químicos; todos son mundos dentro de un mundo más amplio. La observación de escalas ayuda a hacer más clara la relación entre todos estos mundos. Sólo así hemos llegado a entender que un cambio cualquiera, por insignificante que parezca, puede romper este frágil equilibrio.

¿Qué podemos hacer nosotros para cuidar el delicado equilibrio de estos mundos dentro de mundos? La clave está en conocer. El conocimiento permite, por una parte, que los científicos puedan proponer modelos óptimos de conservación. Pero, por otra parte, también permite que todos seamos más empáticos, pensemos en propuestas y pongamos en práctica medidas útiles. Los habitantes de Cuatro Ciénegas, por ejemplo, al conocer los resultados de tantos años de estudios, están empezando a entender que el cuidado del agua de este sitio es muy importante. Mientras más conozcamos, seremos más capaces de cuidar este y otros bellísimos lugares que aún quedan en nuestra tierra.

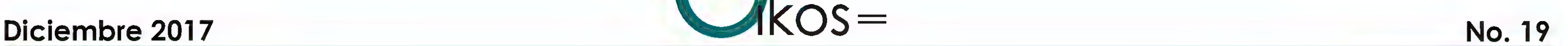
Laura Espinosa Asuar. Es editora asociada de *Oikos*=. Realizó estudios de licenciatura y posgrado en Ciencias Biomédicas en la UNAM. Actualmente trabaja en el Instituto de Ecología de la misma universidad y su área de investigación es la ecología de comunidades microbianas. Ha estado involucrada en la divulgación de la ciencia impartiendo múltiples conferencias y publicando artículos. Ha colaborado en la edición de *Oikos*= desde el inicio de su nueva serie.

Alejandro Araujo. Historiador y profesor. Es coordinador de la Licenciatura en Humanidades en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa. Le interesa trabajar en torno al modo en que se ha tratado “lo indígena” en México, con la intención de cuestionar formas vigentes de racismo y discriminación que siguen operando en el país.

Para saber más

- Ezcurra, E. 2006. Natural History and Evolution of the World Deserts. En: *Global Deserts Outlook, San Diego Natural History Museum*. Ezcurra, E. ed., San Diego, California, EUA.
- Guerrero Mothelet, V. Cuatrociénegas, laboratorio de la evolución. Revista *¿Cómo ves?* 101:10-15.





Artículo

Janos: el último baluarte del perrito de las praderas y del bisonte

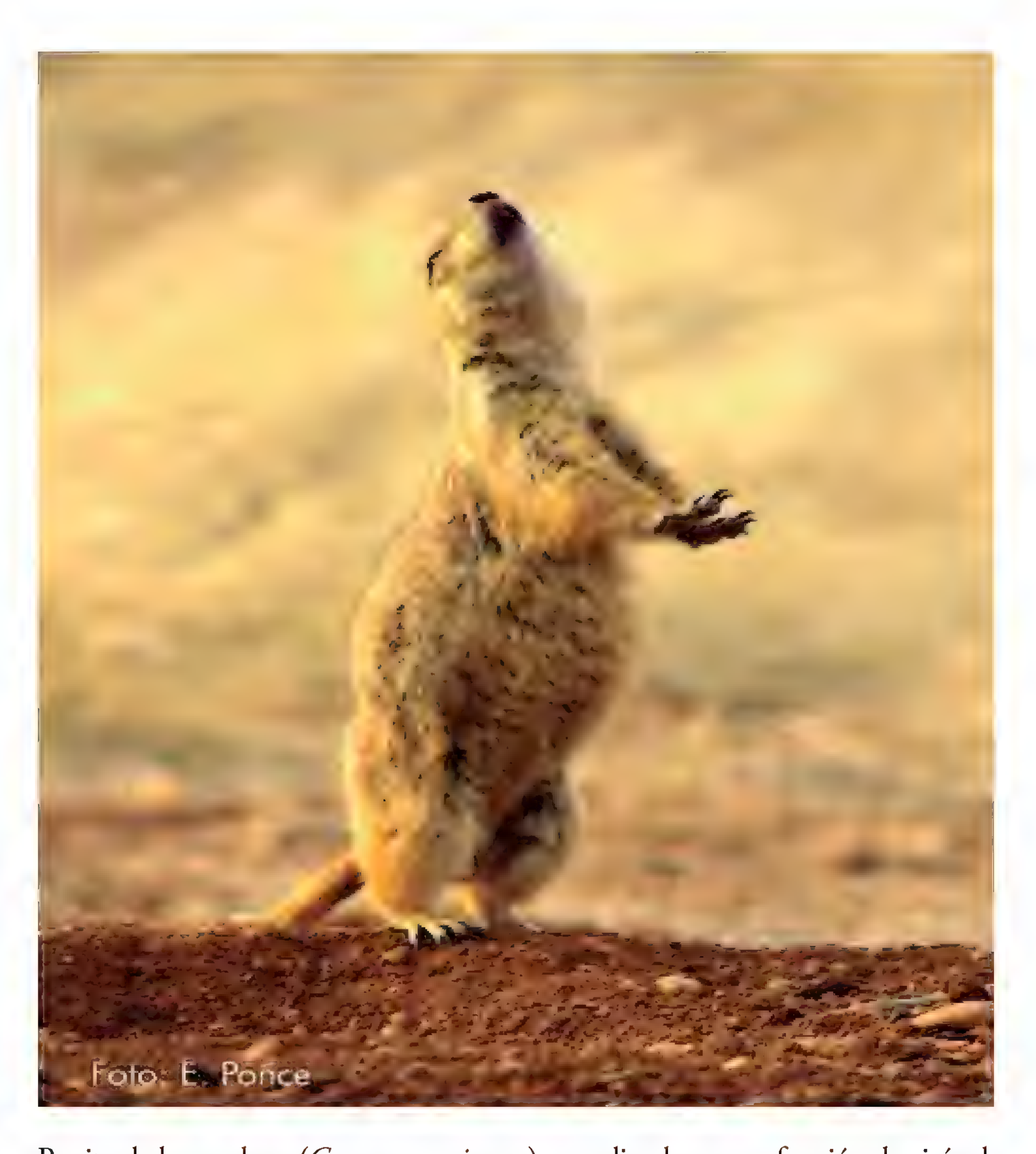
Eduardo Ponce, Rodrigo Sierra, Jesús Pacheco y Gerardo Ceballos

Un reino perdido en el norte de México

En 1450, Francisco Vázquez de Coronado lideró una gran expedición de más de 2000 personas, entre españoles y mexicanos, que partió rumbo al norte de México y al actual Suroeste de los Estados Unidos en busca del mítico reino llamado Cíbola, que escondía siete maravillosas ciudades de oro. Durante dos años recorrieron las planicies áridas sin encontrar oro, pero en el camino observaron una serie de animales desconocidos que llamaron su atención. El primero fue una bestia como una "vaca con joroba", a la que los indios llamaban cíbolo, nombre que se utilizó en México hasta principios del siglo 20 para referirse al bisonte americano, en latín *Bison bison*. Aunque Hernán Cortés había sido el primer europeo en observar un bisonte en los jardines de Moctezuma, Coronado y su expedición fueron los primeros europeos que lo vieron en su hábitat natural. Sus relatos resaltan la incalculable cantidad de animales que se congregaban en manadas; algunos hablan de 20,000 individuos, mientras que otros describen una manada que cubría al menos 20 km.

En este continente dorado también vivía un pequeño y sociable animal de apenas un kilogramo de peso, en colonias formadas por miles de individuos. El perrito de las praderas, como lo llamaron (en latín *Cynomys ludovicianus*), es un pariente de las ardillas que construye madrigueras y túneles subterráneos y se alimenta de pastos y hierbas. Desde el principio los exploradores y naturalistas europeos se sorprendieron por su alta complejidad social, ya que viven en colonias que semejan "pueblos". Incluso algunos exploradores les llamaban "pequeñas repúblicas", por estar compuestas de ciudadanos con complejos sistemas de organización y comunicación; un ejemplo son los vigías que, siempre alerta, hacen notar la presencia de cualquier intruso que amenace a la colonia mediante llamados parecidos a los ladridos de un perro pequeño; el llamado de alerta se extiende rápidamente por toda la colonia y todos corren a refugiarse.

Hasta el siglo XIX, los bisontes y cinco especies de perritos de las praderas compartían este reino de pastos que se extendía desde las praderas Saskatchewan, al sur de Canadá, a las planicies del desierto chihuahuense y hasta el norte y centro de México. En la actualidad, en México habitan dos especies de perritos de las praderas: el mexicano y el de cola negra. El perrito de las praderas mexicano (*Cynomys mexicanus*), endémico del Noreste del Altiplano Mexicano, habita los pastizales áridos de los estados de Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León, y el perrito de las praderas de cola negra (*Cynomys ludovicianus*), sólo se encuentra en el norte de Chihuahua y Sonora, en México, aunque tiene una amplia distribución en Estados Unidos. Hasta inicios de los 1800, estas especies cubrían más de 40 millones de hectáreas, mientras que el bisonte americano habitaba una extensión similar en grandes manadas, con una población que se estima alrededor de los 30 millones de individuos.



Perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*) cumpliendo con su función de vigía al alertar a la comunidad del peligro mediante ladridos. Fotografía: Eduardo Ponce.



A finales del siglo XIX los comerciantes y cazadores se sumaron a los exploradores y soldados. La batalla contra los habitantes de estos ecosistemas comenzó. Primero el comercio de pieles de bisonte se abrió camino y comenzó a eliminar gradualmente a esta especie. La consecuencia más importante de la eliminación de los bisontes del paisaje norteamericano fue la erradicación de los indígenas americanos que dependían de su carne y pieles para sobrevivir; al eliminar a los bisontes, se afectaba de manera enorme la posibilidad de sobrevivencia de estas comunidades humanas. Para finales del siglo XIX, el perrito de las praderas corrió la misma suerte, debido a la supuesta competencia por pasto con el ganado doméstico y a los conflictos directos con agricultores. A raíz de estos problemas de percepción se realizaron campañas masivas de exterminio en Estados Unidos, financiadas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y diseñadas por biólogos que trabajaban sin evidencia científica. Ambas especies llegaron al borde de la extinción a finales del siglo XIX, cuando sólo sobrevivían en el 2% del área en la que históricamente se habían distribuido.

En México, lo que encontraron los exploradores del inicio de la conquista y los posteriores comerciantes, no fue solo una belleza natural extraordinaria; también encontraron pueblos nativos descendientes de sociedades milenarias, que se las habían arreglado para vivir en estos ambientes áridos y extremos. Las sociedades como las que habitaron Paquimé y Janos en Chihuahua vivían en las planicies, montañas y cañones de esta región, y habían desarrollado sistemas políticos y económicos basados en técnicas agrícolas para aprovechar la poca agua y recursos disponibles.

Después de haber sobrevivido por siglos, estas sociedades también enfrentaron el exterminio durante las campañas de evangelización que venían acompañadas de militares que se aseguraban de que se cumpliera exitosamente la misión; al final, estas tierras se repartieron entre militares y otros colonizadores. Las tierras resultaron ser productivas, y así fue como comenzó la cultura ganadera del estado de Chihuahua, que ha perdurado por más de doscientos años. Con esta repartición llegaron nuevos pobladores humanos, así como especies de animales y plantas domésticas: ganado vacuno, caballos, mulas, gallinas, ovejas, chivos, trigo, cebada, mismas que cambiarían estas praderas para la posteridad.

En esta época se formaron enormes latifundios a lo largo y ancho de México. En Chihuahua, los predios del Dr. José Pablo Martínez del Río o el del general Luis Terrazas —con más de dos millones de hectáreas— iniciaron el desarrollo de estos ecosistemas a gran escala. Esta acumulación de tierra (arrebatada, muchas veces, a las comunidades locales) resultó en la Revolución Mexicana. Entonces, la situación social de México y las disputas por la tierra condujeron a que las enormes haciendas se dividieran en propiedades más pequeñas, y éstas, con el tiempo, en otras todavía más pequeñas. La división de la tierra, el crecimiento poblacional y la falta de alternativas educativas y de desarrollo, así como la nula aplicación de las leyes ambientales que experimentó la región, ejercieron mucha presión sobre los recursos, y en las áreas cercanas a los poblados la fauna comenzó a desvanecerse.



Mapa de la distribución del bisonte americano en Norteamérica, entre 1800 y 1876. Imagen: *Mapping the Nation.*

Esto hizo que los campos agrícolas comenzaran a ser algo cotidiano en los pastizales del norte de México. En la última década, el avance tecnológico permitió la expansión de la agricultura intensiva, que en muchos casos ha traído consigo la destrucción de pastizales. Aunado a esto, el sobrepastoreo, las sequías y la falta de técnicas adecuadas para desarrollar proyectos productivos y hacer un uso adecuado de la tierra, han causado severos impactos ambientales, que incluyen la extinción de especies, la pérdida del pastizal y la creciente desertificación de la región. La excesiva extracción de agua del subsuelo provocó la disminución en la disponibilidad de agua, y conforme baja el manto freático (el nivel del agua subterránea), las actividades humanas como la ganadería y agricultura se ven afectadas directamente. Más preocupante aun es el hecho de que el agua ha comenzado a escasear en algunas comunidades. La caza desmedida causó la extinción, entre otros, del oso gris y del lobo mexicano en México, y ha llevado al borde de la desaparición a animales como el berrendo, el bisonte y el borrego cimarrón. Lo que era un paraíso biológico podía convertirse en sitio de una tragedia ambiental si no se detenían los procesos de deterioro. El trabajo del Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre de la UNAM ha jugado un papel muy importante revirtiendo esta tendencia, ya que ha buscado



Pastizales nativos del ecosistema de Janos. Fotografía: Eduardo Ponce.

puntos de conciliación entre los productores locales y los proyectos de conservación, para recuperar de manera colaborativa el ecosistema de pastizal y la fauna en peligro.

La reconquista del Reino de Cíbola

En los años 80, los rumores sobre los últimos pastizales conservados y sobre la existencia de colonias importantes de perritos de las praderas de cola negra en México apuntaban hacia un lugar al norte de la ciudad de Casas Grandes y Janos, en Chihuahua. Al comenzar a estudiarla, la zona reveló, poco a poco, una sorprendente diversidad biológica. Estos pastizales mantenían uno de los complejos más grandes de colonias de perritos de las praderas en todo el continente (55,000 ha), y el complejo más significativo en el desierto chihuahuense. También en este lugar se encuentra la única población de bisonte americano en México y algunas de las últimas manadas de berrendo (*Antilocapra americana*) en el estado de Chihuahua. En la parte serrana se han registrado poblaciones saludables de oso negro (*Ursus americanus*), puma (*Puma concolor*), venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y guajolote silvestre (*Melagris gallopavo*), entre otras especies de vertebrados. Desde las montañas descienden arroyos que dan vida a las planicies y bosques en los que especies como el puercoespín norteño (*Erethizon dorsatum*) y el gato montés (*Lynx rufus*) se refugian de las temperaturas extremas. Los cielos están poblados de águilas reales, gavilanes, halcones, chorlitos, gorriones, tecolotes, lechuzas, gansos, grullas y tordos. La región de Janos–Casas Grandes es uno de los sitios más importantes del continente en cuanto a la hibernación de aves de pastizal y a la anidación de la cotorra serrana occidental, y es uno de los sitios con mayor diversidad de mamíferos terrestres en México y Norteamérica, al que sólo superan la Reserva de la Biosfera Montes Azules en el estado de Chiapas y el famoso Parque nacional Yellowstone en el estado de Wyoming en Estados Unidos.

Paradójicamente, al mismo tiempo que los científicos demostraban la riqueza biológica, el crecimiento de las poblaciones humanas y las políticas de desarrollo trajeron consigo el incremento descontrolado de la agricultura y la degradación de estos pastizales, ocasionado por prácticas ganaderas inapropiadas. La expansión agrícola, el sobrepastoreo causado por la introducción de ganado doméstico, la sobreexplotación de cuerpos de agua y la alteración en los ciclos naturales de herbivoría e incendio son algunos de los factores que han causado la *desertificación* y fragmentación de este ecosistema. Tanto el exceso como la ausencia total de pastoreo contribuyen a la degradación del sistema, ya que se necesita que los herbívoros coman y pisoteen para mantenerlo saludable; algo similar sucede con los incendios, porque al producirse con cierta periodicidad, eliminan el exceso de materia orgánica en descomposición y estimulan el crecimiento de la flora nativa.

La *desertificación* es un proceso que ocurre en ecosistemas áridos, semiáridos o secos sub-húmedos, en el que se pierde la cobertura vegetal (pastos y hierbas nativas) como resultado de variables climáticas, económicas, institucionales, políticas y demográficas. También se perturban los ciclos de incendios naturales y se pierde parcial o totalmente la fertilidad de los suelos, y muchas veces se expanden rápidamente las especies arbustivas, lo que cambia el ecosistema por siempre.



En esta fotografía se aprecia la extensión de los campos de cultivo que dominan el desierto chihuahuense. Fotografía: Rodrigo Sierra Corona.

Estos problemas abrieron nuevas líneas de investigación en la región, en las que se ha explorado el efecto de las actividades humanas sobre la diversidad biológica y los *servicios ambientales*. Gracias a estos trabajos de investigación, ahora comprendemos aspectos biológicos y sociales relacionados con el perrito de las praderas y la fauna y flora en general, que han permitido diseñar e implementar estrategias de recuperación de especies amenazadas, así como programas de restauración y manejo de los pastizales. De esta manera, la participación social cobró fuerza y decenas de productores y vaqueros de la región voltearon a ver los esfuerzos que se hacían en el sitio.

Gracias al trabajo de un gran número de personas provenientes de institutos de investigación, instituciones gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil, productores y comunidades locales, el 11 de noviembre de 2009 se decretó la Reserva de la Biosfera Janos, y una manada de 21 bisontes provenientes del Parque nacional Wind Cave de los Estados Unidos (tomados de una de las cinco manadas genéticamente puras) fue liberada en los pastizales como parte de un proyecto de colaboración binacional. Después de más de un siglo, los bisontes volvieron a correr por las praderas de Janos y los perritos de las praderas han vuelto a preocuparse sólo por sus depredadores naturales. El programa de manejo Reserva de la Biosfera, Janos regula las actividades dentro del área natural protegida, y

Servicios ecosistémicos o ambientales, son los beneficios que recibimos de los ecosistemas, de los que depende nuestra salud y bienestar general. Pompa, S., L. Martínez y C. Equihua. 2010. Los beneficios gratuitos de la naturaleza. Revista *¿Cómo ves?* 144: 30-33.







Berrendos (*Antilocapra americana*) corriendo en libertad en la Reserva de la Biosfera Janos. Fotografía: Rodrigo Sierra Corona.

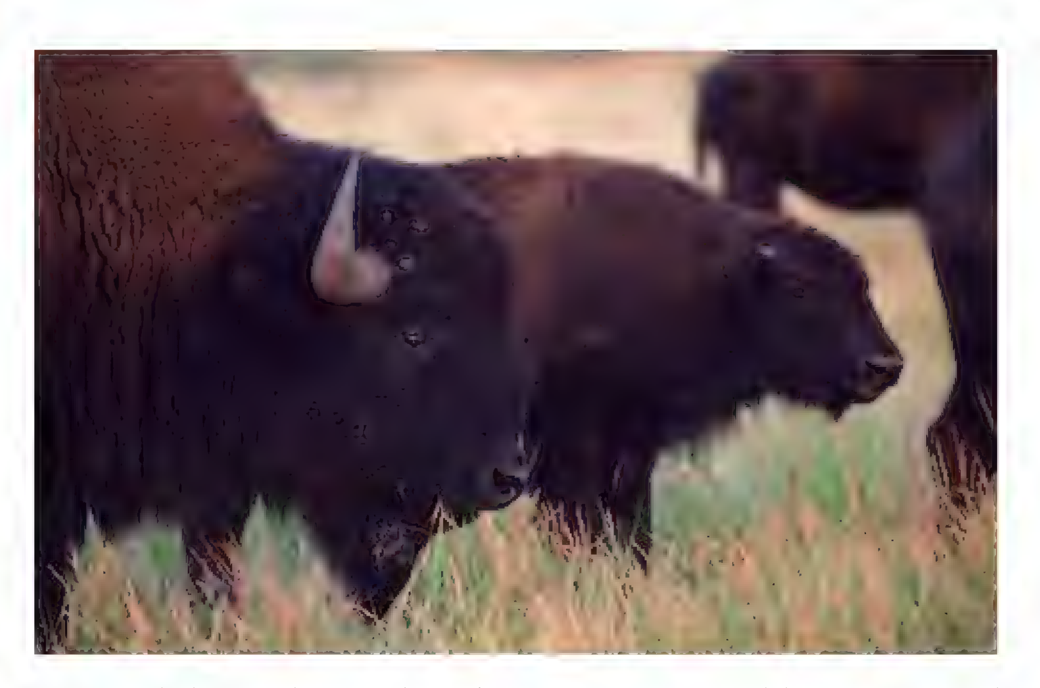
se ha ido adaptando a las necesidades de la región. Los pobladores y productores locales han expresado sus opiniones respecto al mismo, y gradualmente las estrategias de conservación de la diversidad biológica se han integrado con las actividades agropecuarias, especialmente con la ganadería. Los resultados de esta interacción ciencia-productores nos han permitido diseñar e implementar exitosamente proyectos que son un ejemplo de ganadería sustentable y agricultura alternativa con claros objetivos de conservación.

El reino actual

En la actualidad, la Reserva de la Biosfera Janos es una matriz de propiedades privadas y ejidos en la que la ganadería y la agricultura son las principales actividades económicas y la mayor amenaza para la biodiversidad, debido a las prácticas no sustentables que se implementan en gran parte de la región. La poca planeación de las actividades agropecuarias y la falta de capacidad técnica dañan a las poblaciones de fauna silvestre y, junto con la erosión eólica e hídrica, han provocado la pérdida de suelos; además, ha aumentado la invasión de plantas leñosas y hay sobreexplotación de los mantos acuíferos. Todo este conjunto de amenazas ha transformado los ecosistemas locales. En las últimas décadas, miles de hectáreas se han convertido, de manera ilegal, en campos de cultivo que amenazan seriamente la biodiversidad de uno de los ecosistemas más productivos de nuestro país.

Por más de 20 años, el Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre del Instituto de Ecología de la UNAM ha impulsado la protección del lugar. Actualmente continuamos con el desarrollo e implementación de estrategias para la conservación de los valores biológicos y culturales a largo plazo en los pastizales áridos del noroeste de México. Esto se logrará monitoreando la biodiversidad, mejorando y diversificando el manejo de los recursos naturales, recuperando a las especies amenazadas y desarrollando esquemas de participación social.

Hoy, gracias al esfuerzo continuo, a la pasión de muchas personas e instituciones y a la voluntad de los pobladores, miles de personas pueden sentir lo que sintieron los primeros exploradores de hace más de 500 años, cuando vieron por primera vez el vasto pastizal, el complejo ecosistema y a los majestuosos animales que pastaban tranquilamente en el llamado Reino de Cíbola.



Después de la introducción de 21 bisontes provenientes del Parque nacional Wind Cave de Estados Unidos, la manada se reprodujo exitosamente y ahora la conforman más de 150 bisontes. Fotografía: Eduardo Ponce.

Eduardo Ponce. Es Doctor en Ciencias Biológicas en la UNAM. Cuenta con una exitosa formación académica en biología de la conservación. Ha participado activamente en la recuperación del perrito llanero, o de las praderas, y en la restauración de pastizales en la Reserva de la Biosfera Janos.

Rodrigo Sierra Corona. Conservacionista, fotógrafo y productor de ganado, su trabajo hace énfasis en la interacción entre cultura y naturaleza, con el objetivo de mejorar el manejo de los recursos naturales en el largo plazo. Es Doctor en Ciencias Biológicas otorgado por la UNAM.

Jesús Pacheco. Es Maestro en Ciencias y Técnico Académico del Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre del Instituto de Ecología. Trabaja en proyectos de conservación de ecosistemas en la Reserva de la Biosfera Janos–Casas Grandes en Chihuahua, noreste de México y la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche.

Gerardo Ceballos. Es Investigador del Instituto de Ecología de la UNAM y dirige el Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre. Sus intereses académicos incluyen a la ecología animal, biogeografía y la conservación de vertebrados.

Para saber más

- Manzano-Fischer, P. y R., List. 2010. Ecosistemas: protección y restauración. Revista *¿Cómo ves?* 140: 30-33.
- SEMARNAT. Reserva de la Biosfera Janos. 2016. https://goo.gl/RUFn6f.
- Sierra-Corona, R. Janos, un sobreviviente en Chihuahua. México Desconocido. https://goo.gl/zfX9d5



Artículo

México y sus polinizadores: crónica de una crisis anunciada

Emiliano Mora Carrera



El abejorro carpintero (*Xylocopa tabaniformis*) es un polinizador de flores de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). Fotografía: Rocío Brito García.

En los últimos años hemos sido testigos de una enorme disminución de la diversidad biológica a escala global. Esta pérdida es ocasionada en gran medida por la alteración de los hábitats, principalmente el cambio de uso de los suelos (para la agricultura y ganadería), y a los efectos del cambio climático. Este fenómeno es más visible y estudiado en las especies más grandes, como los mamíferos y las aves. Sin embargo, la actividad agrícola intensifica esta pérdida de biodiversidad en otros grupos de animales menos estudiados, como los insectos. La agricultura acentúa esta crisis en la diversidad de insectos debido a la gran cantidad de agroquímicos, principalmente en forma de insecticidas, que se utilizan en el campo. Los insecticidas no sólo eliminan a las plagas, sino también a insectos que son benéficos para los campos de cultivo. Un ejemplo de los principales afectados son los polinizadores, animales que promueven la formación de frutos al transportar el polen de la parte masculina a la parte femenina de una flor.

La disminución en el número de poblaciones y de especies de polinizadores a nivel mundial ha generado una creciente preocupación, ya que al haber menos polinizadores se prevé que las plantas que dependen de estos insectos produzcan menos frutos. Esta disminución de polinizadores, principalmente de las abejas silvestres y de la abeja domesticada (*Apis mellifera*), ha sido estudiada a detalle en Europa y Norteamérica, e incluso ha llegado a conocerse como "la crisis de los polinizadores" (Biodiversitas 85). Esta crisis puede ocasionar un grave problema ecológico, ya que disminuye la producción de semillas y esto a su vez ocasiona la reducción de las poblaciones de plantas que dependen de los polinizadores. Asimismo, esta reducción podría tener un efecto drástico en la producción de alimentos.

Como sabemos, la agricultura es fundamental para todos nosotros, ya que es la principal (y, en algunos casos, la única) fuente de alimento para los miles de millones de personas que habitamos el planeta. En el caso particular de México, nos provee de los ricos aguacates que utilizamos para acompañar una buena torta, de la refrescante sandía que comemos en el verano y del cacao con el que se produce el delicioso chocolate que millones de personas disfrutan alrededor del mundo. Para producir todo esto, la agricultura depende en gran medida de los *servicios ecosistémicos* que proveen los diversos participantes de un ecosistema. Uno de estos servicios es la polinización, que, como ya dije, promueve la formación de frutos y semillas. Es por esta razón que los polinizadores juegan un papel importantísimo en relación con la economía de nuestro planeta. Así pues, es indispensable identificar la forma en que la pérdida o reducción de las poblaciones de polinizadores afecta actualmente a los ecosistemas y también a las actividades económicas que dependen de ellos. Esto nos va a permitir tomar medidas que nos ayuden a resolver tanto las problemáticas actuales como las que se avecinan.

Considerando que las poblaciones de polinizadores han disminuido, en 2009, Marcelo Aizen y sus colaboradores encontraron que los cultivos que no dependen o dependen poco de los polinizadores tienen un mayor incremento anual en su rendimiento, en comparación con los cultivos que sí dependen en gran medida de los polinizadores. Ellos reportan que la disminución en el rendimiento anual de los cultivos que dependen de los polinizadores se relaciona con un incremento en el área cultivada en este tipo de plantaciones. Esto quiere decir que,



para compensar la reducción del rendimiento en estos cultivos, se siembran más áreas de cultivo. Ashworth y algunos colegas de la UNAM, sugieren que este impacto negativo en el rendimiento de los cultivos podría ser más fuerte en los países en desarrollo. Esto se debe a que los países no desarrollados no cuentan con la infraestructura económica necesaria para poder suplir el servicio ecosistémico de los polinizadores como lo hacen los países más desarrollados, mediante métodos comerciales como la renta de colonias de polinizadores.

La riqueza que le debemos a los polinizadores

En el caso de México, del total de las 316 especies que se cultivan en el país, cerca de 145 dependen en cierta medida de los polinizadores para producir los frutos y semillas que después consumimos. Sin embargo, aún no hay información con respecto al nivel de dependencia de más de 60 especies. Según el INEGI, muchos de los productos agrícolas que más se producen y que generan grandes beneficios económicos se obtienen gracias a la polinización. En el cuadro 1 se puede ver el nivel de dependencia de polinizadores de varios de los productos que se producen en mayor cantidad (en toneladas) o que generan una ganancia económica importante para nuestro país a través de la exportación. Cabe destacar que varios de los productos mencionados en esta tabla son originarios de México o se han cultivado en el país desde tiempos prehispánicos; entre ellos están el maíz, el frijol, la vainilla, el jitomate, la calabaza, el aguacate y el cacao.

Para darnos una idea de la importancia de estos productos, en 2011 se produjo un total de 39 millones de toneladas entre productos provenientes de cultivos dependientes y no-dependientes de polinizadores (tomando en cuenta únicamente los productos mostrados en el cuadro 1). De esta producción total, la fracción que se exportó generó una ganancia de poco más de 2,500 millones de dólares. De esta ganancia, el 77% provino de cultivos que dependen en gran medida de los polinizadores, principalmente de las abejas. Esto concuerda con lo que Ashworth y sus colegas habían señalado desde 2009; que a pesar de que es mucho mayor la producción proveniente de cultivos que no dependen de los polinizadores (como el trigo, el maíz y la cebada, que son polinizados por el viento), los productos que sí dependen de los polinizadores generan más ganancias económicas.

Para determinar si en México se han reducido los rendimientos, como se esperaría en caso de haber una diminución en las poblaciones de polinizadores, analicé el comportamiento de los rendimientos de varios productos dependientes y no-dependientes de polinizadores. Para esto, obtuve los datos del rendimiento anual de varios cultivos en México, de 1961 a 2011. Estos datos se encuentran disponibles en la base de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Los cultivos seleccionados fueron los de sandía, pepino, calabaza, manzana, mango, aguacate y cacao (que dependen completa o casi completamente de los polinizadores) y los de jitomate, papaya, limón, trigo, maíz y cebada (que dependen poco o nada de los polinizadores). La clasificación entre cultivos dependientes y no-dependientes de los polinizadores se basa una revisión hecha por Alexandra Klein y sus colaboradores en 2007 Los resultados de este análisis muestran que, en promedio, el rendimiento anual de los cultivos que dependen de los polinizadores ha aumentado 0.017% por año, mientras que el de los cultivos no dependientes ha aumentado 0.036% por año. Esto sugiere que, a pesar de que los rendimientos de ambos tipos de cultivo están aumentando anualmente, este incremento es casi dos veces mayor en el caso de los cultivos que no dependen de los polinizadores. Un caso distinto es el del rendimiento de los cultivos de vainilla, que es una de las especias más caras del mundo y depende en gran medida de los polinizadores; en este caso, sus rendimientos fueron más altos que los de los cultivos no dependientes. Esto podría deberse a que, en algunos centros de cultivo controlados, la vainilla se poliniza de manera manual para obtener la vaina. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) señaló en 2011 que este tipo de polinización manual requiere una gran mano de obra de entre 300 a 600 jornaleros por hectárea.

Aunque este efecto de la disminución del rendimiento de los cultivos que dependen de polinizadores, en comparación con los no dependientes, concuerda con lo esperado bajo un escenario de reducción en poblaciones de polinizadores, todavía no se cuenta con información suficiente para asegurar si esta reducción se debe a la pérdida de las poblaciones naturales de los polinizadores a través del tiempo. Es decir, este efecto se podría deber a que las plantas no dependientes son anuales, o incluso pueden tener varias generaciones en un año, como el maíz y el trigo, que permiten procesos de mejora de las semillas. En cambio, plantas como los árboles que producen el aguacate o la manzana tienen ciclos de vida muy largos que dificultan



En Estados Unidos circulan camiones llenos de abejas destinados a cumplir con la misión de satisfacer las necesidades de polinización de los grandes cultivos. Fotografía: Krista Keenan.





Cuadro 1. Cultivos de gran importancia comercial en México				
Nombre común del cultivo	**Nombre científico**	**Nivel de dependencia de la polinización animal[1]**	**Producción en 2011 (en toneladas)[2]**	**Valor de exportación (en dólares)[3]**
Sandía	*Citrillus lanatus*	Indispensable	1,002,019	243,349,522
Melón	*Cucumis melo*	Indispensable	564,366	22,660,090
Calabazas	*Cucurbita spp.*	Indispensable	137,98	------
Cacao	*Theobroma cacao*	Indispensable	21,388	631,289,025
Vainilla	*Vanilla spp.*	Indispensable	362	569,109
Manzana	*Malus domestica*	Alta	630,533	522,027
Mango	*Magnifera indica*	Alta	1,536,654	173,079,384
Aguacate	*Persea americana*	Alta	1,264,142	837,332,571
Pera	*Pyrus comunis*	Alta	25,160	37,161
Pepino	*Cucumis sativum*	Alta	425,433	258,801,952
Tomate	*Solanum lycopersicum*	Moderada	1,872,482	35,356,254
Soya	*Glycine max*	Poca	205,234	7,192,773
Frijol	*Phaseolus vulgaris*	Poca	567,779	46,502,718
Papaya	*Carica papaya*	Poca	634,369	252,418,177
Limón	*Citrus x limón*	Poca	2,132,922	298,468,320
Trigo	*Triticum spp.*	Nada	3,627,511	10,787,105
Maíz	*Zea mays*	Nada	17,635,417	41,951,381
Cebada	*Hordeum vulgare*	Nada	487,448	164,556
Sorgo	*Sorghum spp.*	Nada	6,429,311	130,987

[1]. Según la clasificación de Klein *et al.* (2007) Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops. [2]. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) https://goo.gl/LZ7P8u. [3]. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos (INEGI, 2011).

los procesos de mejoramiento genético. Por otro lado, se podría observar un efecto similar si las especies que dependen de los polinizadores fueran más susceptibles a nuevas plagas y enfermedades como la monoiliasis del cacao, que es causada por hongos que atacan directamente a los frutos del cacao. Por esta razón considero que es importante comenzar a monitorear las poblaciones de polinizadores, tanto nativos como introducidos, para poder determinar si se relaciona con esta diminución en el rendimiento de los cultivos.

Para este breve análisis no pude determinar con certeza estadística si la falta de polinizadores tiene o no un efecto en la reducción del rendimiento agrícola de nuestro país, pero es importante considerar que, al reducirse el rendimiento por hectárea, en algún momento podría ser necesario aumentar la cantidad de área cultivada para mantener la misma capacidad de producción de cultivos que dependen de la polinización. Esto último sería un problema grave, ya que reduciría aún más los hábitats naturales que sirven como reservorio de la biodiversidad, de la que también forman parte los polinizadores silvestres.



En diversas regiones de México se ha iniciado el cultivo de abejas meliponas. Estas abejas son fáciles de mantener en cajones en casa. Fotografía: Clementina Equihua Z.



Los de casa siempre ganan (y otras soluciones para la polinización agrícola)

En Estados Unidos la renta de colonias de polinizadores ha surgido como una alternativa para solucionar el problema de la pérdida de polinizadores. Los apicultores llevan en camiones las colmenas para que sus abejas lleven a cabo la polinización en campos agrícolas (ver *Rent a hive*). Sin embargo, en 2013, Garibaldi y colaboradores encontraron que la polinización que realizan los insectos nativos o silvestres aumenta mucho más los rendimientos y la producción agrícola, en comparación con la polinización por abejas no-nativas e introducidas como lo son las abejas europeas, *Apis mellifera.* Más aún, estos autores sugieren que el uso del servicio ecosistémico de abejas comerciales no compensa, sino que sólo complementa el servicio realizado por especies silvestres nativas. Posteriormente, estos autores revisaron diferentes prácticas que han demostrado incrementar el rendimiento de los cultivos por medio del uso de polinizadores nativos. Estas prácticas incluyen actividades como proveer recursos para que los polinizadores puedan anidar, la práctica de siembra de plantas que atraigan insectos en los bordes de los cultivos y la de conservar los hábitats naturales cercanos. Todas ellas se realizan fuera del área de cultivo. Dentro del cultivo se podría disminuir el uso de pesticidas sintéticos, por ejemplo, aquellos que contengan neonicotinoides los cuales han demostrado incrementar la mortalidad de las abejas, lo que incluso ha llevado a los europeos a prohibir su uso (ver *Pesticides and Bees*). Además, se pueden utilizar métodos de cultivo agroforestales en donde el cultivo crece rodeado de vegetación nativa, lo que permite preservar la diversidad de insectos nativos asociados.

A pesar de la gravedad de este problema, y de las varias soluciones que se han propuesto para revertir la pérdida de biodiversidad en los cultivos, son aún pocas las investigaciones en nuestro país que hacen evidente la crisis a la que podemos enfrentarnos en el futuro. Este trabajo sólo es un atisbo de lo que podría implicar. Una prueba de lo poco que sabemos es el trabajo de Steward y colaboradores, quienes encuentran que tan sólo el 11% de trabajos científicos relacionados con polinización y control biológico en agro-sistemas, a nivel mundial, se han hecho en países en desarrollo (como México). Y más preocupante aún es que la mayoría de estos trabajos están relacionados con cultivos de café, el cual, a pesar de su gran importancia comercial, no sirve como alimento para el ser humano. Es decir que no sabemos mucho acerca de cómo la crisis de biodiversidad afecta a aquellos cultivos de los cuales depende la alimentación de los habitantes de nuestro país. Es por ello que resulta indispensable dirigir esfuerzos para poder entender cómo la pérdida de diversidad biológica, como en el caso de la "Crisis de los Polinizadores", puede poner en riesgo no solamente la economía, sino el futuro de nuestra alimentación.

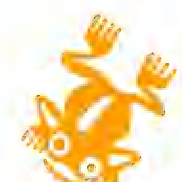


En México también se compran, aunque en menor medida, servicios de polinización. La empresa *Koppert Biological Systems* comercializa colmenas de abejorro común (*Bombus terrestris*), especie que poliniza los cultivos de jitomate. En el Instituto de Ecología de la UNAM se estudia la conducta de abejorros provenientes de esta empresa. En la imagen se alcanzó a ver un ejemplar entrando a su colmena artificial. Fotografía: Rocío Brito García.

Emiliano Mora Carrera. Estudió la licenciatura en Biología en la Universidad de Sonora y realizó su tesis de licenciatura y maestría en el Instituto de Ecología de la UNAM. Actualmente es asistente de investigación en el Laboratorio de Interacción Planta-Animal del mismo Instituto.

Para saber más

- Ashworth L., M. Quesada, A. Casas, R. Aguilar y K. Oyama. 2009. Pollinator: Dependent Food Production in Mexico. *Biological Conservation,* 142:1050-1057.
- Garibaldi L., M. Aizen, S. Cunningham y A. Klein. 2009. Pollinator Shortage and Global Crop Yield. *Communicative & Integrative Biology,* 1:37-39.
- Garibaldi L., I. Steffan-Dewenter, R. Winfree, M. Aizen, *et al.* 2013. Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science,* 339:1608-1611.
- Mazzeo, C. 2013. Pérdida de polinizadores silvestres afectaría los cultivos. SciDevNet.
- FAO. 2014. *Principios y avances sobre polinización como servicio a ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe.*



Artículo

Un vistazo a la ecología nutricional

Alicia Reyes Ramírez y Alejandro Córdoba Aguilar

El motor de la vida

Dicen que "el comer y el rascar, todo es empezar", pero este dicho popular no considera los beneficios de una alimentación sana y equilibrada. Para los seres vivos, obtener una dieta equilibrada no es una tarea sencilla. Los animales requieren alimentos para desarrollarse, conquistar territorios y parejas y defenderse de los patógenos, entre otras cosas, y sus necesidades específicas de nutrición cambian con el tiempo. La búsqueda y el consumo del alimento implican por sí mismos un gasto energético considerable. Además, un animal que está buscando comida puede convertirse en el alimento de otro, así que también se trata de una actividad peligrosa. Por lo tanto, aun si dicho animal busca equilibrar su dieta acorde con sus diversas necesidades, las presiones que tiene que enfrentar hacen que no siempre lo logre. En este sentido, la ecología nutricional trata de entender cómo la alimentación afecta a los individuos, directa o indirectamente, en diferentes aspectos de su vida.

La necesidad de una dieta equilibrada nos ha llevado a estudiar la ecología de animales que se pensaba que no eran selectivos al momento de alimentarse. Por ejemplo, se creía que los carnívoros simplemente obtenían más energía al comer un mayor número de presas. Sin embargo, esto no es así. Ahora se sabe que son capaces de forrajear selectivamente para obtener ciertas grasas y proteínas según las requieren. Además, los depredadores no están exentos de llevar a cabo funciones clave como la reproducción. A este respecto, en estudios de nuestro laboratorio, hemos observado que cuando los machos adultos del caballito del diablo *Hetaerina americana* (que son carnívoros) están infectados con cierta bacteria (ver En la salud y en la enfermedad de A. Córdoba), además de usar su tiempo para encontrar hembras, aumentan el tiempo de forrajeo en comparación con machos que no están enfermos, para obtener nutrientes que les ayuden a recuperar su salud.

Forrajear son todas aquellas conductas asociadas con la obtención y consumo del alimento. Por ejemplo: buscar, manipular y digerir la comida.

Para el apetito descontrolado

La alimentación es un proceso intermitente. Es decir, los períodos de alimentación se intercalan con períodos en los que se realizan otras actividades. Estos ciclos son muy variables entre los animales. En el caso de las ratas hooded (*Rattus norvegicus*) criadas en laboratorio, por ejemplo, la cantidad de comida que consumen cuando los intervalos entre comidas son relativamente largos (24 a 72 horas) varía según el tamaño de los alimentos; mientras que en intervalos relativamente cortos (3 a 12 horas), la cantidad de alimento consumido ya no depende del tamaño. En las ratas también puede cambiar la ingesta diaria si cambia la temperatura ambiental. La codorniz japonesa (*Coturnix japonica*) es un caso que ilustra muy bien el fenómeno de la variación en los intervalos de alimentación dependiendo del tipo de comida que



El herrerillo común *Cyanistes caeruleus*, es una especie en la cual el tamaño de larvas con las que alimentan a sus polluelos varía dependiendo de la duración de los intervalos entre cada comida. Fotografía: Pixabay.com



se le administre ya que, experimentalmente, se ha encontrado que comen con más frecuencia y en intervalos más cortos cuando se alimentan con puré diluido, que contiene 40% de celulosa, que cuando consumen puré sin diluir o pellets.

Si no puedes comer sólo una: regula tu ingesta diaria

A pesar de las presiones, los animales escogen su alimento y regulan la ingesta de nutrientes con base en dos parámetros. Uno es la composición y la calidad nutricional del alimento, lo cual implica que detectan los nutrientes clave por medio de ciertos receptores; es decir, que de alguna manera perciben los azúcares, algunos aminoácidos, sales y agua. El otro es el estado nutricional del animal. Por ejemplo, los insectos herbívoros que han estado sometidos a dietas desequilibradas regulan su ingesta para consumir una mayor cantidad de los nutrientes que les faltan y una menor cantidad de los nutrientes que tienen en exceso. Para lograr este balance llegan incluso a ingerir sustancias con efectos adversos, como compuestos *aleloquímicos* de los tejidos de las plantas, ya que les ayudan en el proceso de digestión.

La energía del triunfo

El estudio de la fisiología de un animal y el papel de los microbios asociados a su organismo y la diversidad de su dieta, es una de las áreas más activas de la ecología nutricional. Se ha encontrado que no todas las relaciones microbio-hospedero (en este caso el hospedero es el animal) son benéficas para los animales, y hay evidencias de "carreras armamentistas" en las que ambas partes buscan tener el control de la conducta alimentaria. Por ejemplo, los hospederos pueden automedicarse por medio de la alimentación. Esto incluye el consumo de compuestos orgánicos, como los metabolitos secundarios que producen las plantas para atraer o repeler a otros organismos y que robustecen la inmunidad del hospedero. Las larvas de la mosca de la fruta,



Algunas larvas de insectos, como las orugas, consumen compuestos aleloquímicos que les ayudan a regular la ingesta de nutrientes. Fotografía: Pixabay.com

> Los *aleloquímicos* son compuestos químicos liberados por una planta, que tienen efectos conductuales o fisiológicos, ya sea negativos o benéficos, sobre otros organismos (plantas, hongos, animales o bacterias).

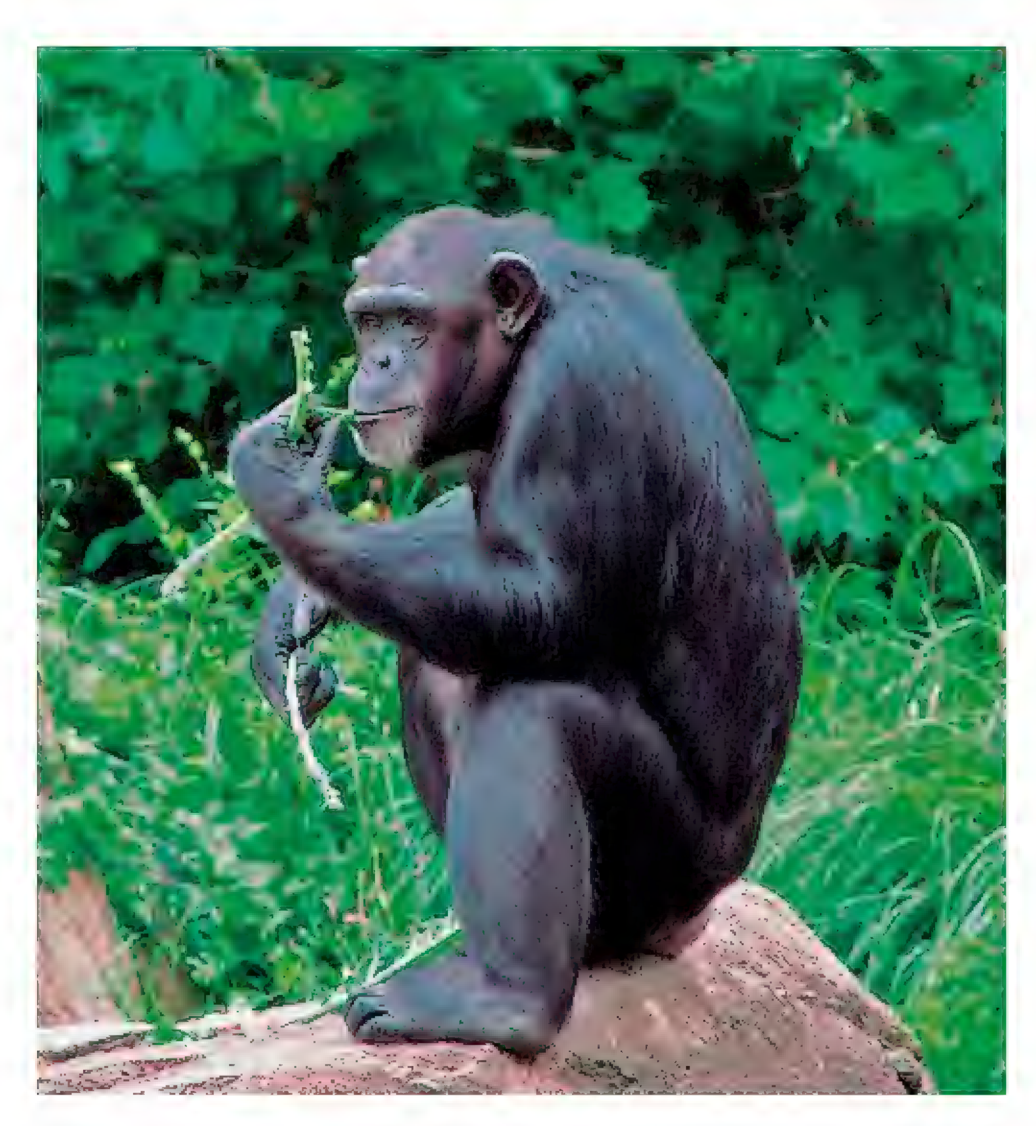
por ejemplo, obtienen etanol al consumir frutos en descomposición, lo cual le dificulta a la avispa que las parasita poner huevecillos en su cavidad o hemocele. Incluso si una larva de la mosca ya tiene parásitos, el etanol provoca que una cantidad considerable de las larvas de la avispa mueran.

La automedicación no es la única estrategia para enfrentar una enfermedad; un caso curioso es la falta de apetito. Esta conducta, en principio, no parece la estrategia más conveniente, dadas las altas demandas energéticas que conlleva la respuesta inmune necesaria para enfrentar a un patógeno. En los insectos se ha encontrado que la *apolipoforina III* es la misma proteína que participa tanto en la respuesta inmune, como en la digestión (en el transporte de lípidos). Así, los episodios de falta de apetito o anorexia en un organismo enfermo, en realidad evitan conflictos fisiológicos entre la digestión y la inmunidad, provocando que la *apolipoforina III* trabaje exclusivamente en combatir al patógeno. Aparentemente, mecanismos semejantes podrían operar en los vertebrados, de modo que no hay que asustarse si, ante la enfermedad, uno no siente hambre.

Todo comienza con un buen marco

La ecología nutricional estudia una amplia gama de organismos y abarca una gran cantidad de métodos, conceptos y objetivos que se centran en su morfología, fisiología, desarrollo, conducta, ecología (por ejemplo, los efectos de las restricciones en el alimento sobre ciertas funciones para la preservación de la vida, como el crecimiento, la reproducción y la supervivencia), y abarca también a su evolución fenotípica, tanto desde el punto de vista de la función como del mecanismo. Es por eso que se ha propuesto la integración de marcos conceptuales como el del forrajeo óptimo (que analiza el proceso de alimentación visto como una cuestión de costos y ganancias), la ecología nutricional (que analiza la interacción entre el estado nutricional del individuo y el medio ambiente), la geometría de la nutrición (que mide el efecto de uno o más alimentos en el estado nutricional, composición corporal y eficiencia en la utilización de los nutrientes de los organismos) y la estequiometría ecológica (que analiza el flujo de materia y energía en el ecosistema, es decir, compara la composición de elementos como nitrógeno, fósforo y carbono presentes en los consumidores y sus recursos). En conjunto, estos cuatro enfoques conforman y le dan cohesión teórica y metodológica a lo que se conoce como el marco geométrico, que describe las relaciones entre el consumo de nutrientes y distintas variables importantes en la vida de los organismos, como la esperanza de vida, la reproducción, la inmunidad y la microbiota.





Chimpancé consumiendo hojas. En este género de primates se ha documentado la automedicación con plantas para combatir los parásitos intestinales. Fotografía: Pixabay.com

Actualmente, la ciencia busca entender el impacto de la conducta alimenticia en la ecología y evolución fenotípica de los organismos y en sus diferentes niveles de organización. Estos son temas que ayudarán también a entender aspectos sobre la salud alimenticia de los seres humanos, como el incremento en la incidencia de la diabetes y de los ataques al corazón.

Sabiduría y obesidad

La Organización Mundial de la Salud ha señalado que la tasa de obesidad en los humanos (y sus mascotas, perros y gatos) va en aumento. De hecho, este organismo estima que más de mil millones de personas en todo el mundo tienen sobrepeso u obesidad. Pero el riesgo que conlleva el consumo de grasas no es exclusivo de nuestra especie. La relación entre el contenido de grasa corporal y el riesgo de muerte prematura también se ha estudiado en insectos como las langostas y grillos, orugas o moscas de la fruta. Sin embargo, a diferencia de nosotros, estos animales parecen tener una "sabiduría nutricional", ya que mantienen un consumo objetivo de macronutrientes, lo que les permite minimizar el riesgo de morir en etapas tempranas por enfermedades asociadas a las grasas.

Si otras especies han logrado llevar un equilibrio entre lo que consumen y su fisiología, entonces ¿por qué a nosotros, los seres humanos, nos va tan mal? Para entenderlo, tenemos que remontarnos a una transición importante en la nutrición humana, que ocurrió cuando el estilo de vida dejó de ser el del cazador-recolector para convertirse principalmente en el de agricultor. A pesar de que esto sucedió en momentos distintos en diferentes lugares del mundo, los resultados han sido similares. Uno de los más relevantes es el aumento en los carbohidratos disponibles. A lo largo de nuestra historia, la incorporación de carbohidratos a la dieta ha aumentado progresivamente, sobre todo a partir de la revolución industrial, que trajo consigo la tecnología para refinar el azúcar y una gran facilidad para transportarla del sitio de producción al consumidor final. Consecuentemente, hoy en día tenemos un acceso sin precedentes a todo tipo de alimentos, y el ritmo al que ha cambiado nuestro ambiente nutricional rebasa la velocidad de nuestro metabolismo para adaptarse, en términos evolutivos.

Al utilizar el marco geométrico, se ha logrado saber más sobre el papel que juega el porcentaje de proteínas ingeridas en la dieta humana. Por ejemplo, los científicos han identificado que cuando tenemos un déficit de proteínas en nuestra dieta, muchas veces lo tratamos de compensar consumiendo en exceso bebidas azucaradas (jugos de fruta y refrescos) y bocadillos con

Mediante el marco geométrico para la nutrición, podemos estudiar la forma en que el estado nutricional de un insecto como la mantis religiosa o de un mamífero como un zorro afecta, su forrajeo, entre otras cosas. Fotografía: Pixabay.com



La obesidad es una de las principales enfermedades en el mundo, debido a los hábitos alimentarios del ser humano. Fotografía: Pixabay.com





altos contenidos de grasas y carbohidratos. Sin embargo, al final estos alimentos no logran satisfacer el hambre de proteínas, pero sí se acumulan en nuestro tejido adiposo. Es por ello que, en cuestiones de salud y gestión de la dieta tenemos, sí o sí, que tomar en cuenta la biología; de otra manera, nuestro esfuerzo por combatir el hambre de proteínas estará destinado al fracaso.

Actualmente, en el laboratorio trabajamos con el escarabajo de la harina (*Tenebrio molitor*) para comprender cómo diferentes proporciones de carbohidratos y proteínas en dietas sintéticas afectan diferentes aspectos de la vida de este animal. La idea es usar a este insecto como un sujeto de estudio ejemplar para encontrar el "balance perfecto" en la dieta, para obtener el mayor éxito en cuanto a adecuación.

Alicia Reyes Ramírez. Estudia el doctorado en Ciencias Biomédicas e investiga cómo la condición de los individuos afecta la elección de pareja y el efecto que esto tiene, a su vez, en la progenie.

Alejandro Cordoba Aguilar. Es investigador del Instituto de Ecología con intereses en temas como selección sexual, inmunidad, control hormonal y biología de la conservación de insectos.

Para saber más

- González-Tokman, D., A. Córdoba-Aguilar, I. González-Santoyo, y H. Lanz-Mendoza. 2011. Infection Effects on Feeding and Territorial Behaviour in a Predatory Insect in the Wild. *Animal Behaviour*, 81: 1185-1194.
- Magni, P. *et al.* 2009. Feeding Behavior in Mammals Including Humans. *Trends in Comparative Endocrinology and Neurobiology*, 1163: 221-232.
- O'Brien, E. 2015. Automedicación animal. Acercaciencia.
- Raubenheimer, D., S.J. Simpson y D. Mayntz. 2009. Nutrition, Ecology and Nutritional Ecology: Toward an Integrated Framework. *Functional Ecology*, 23:4-16.



Reseña

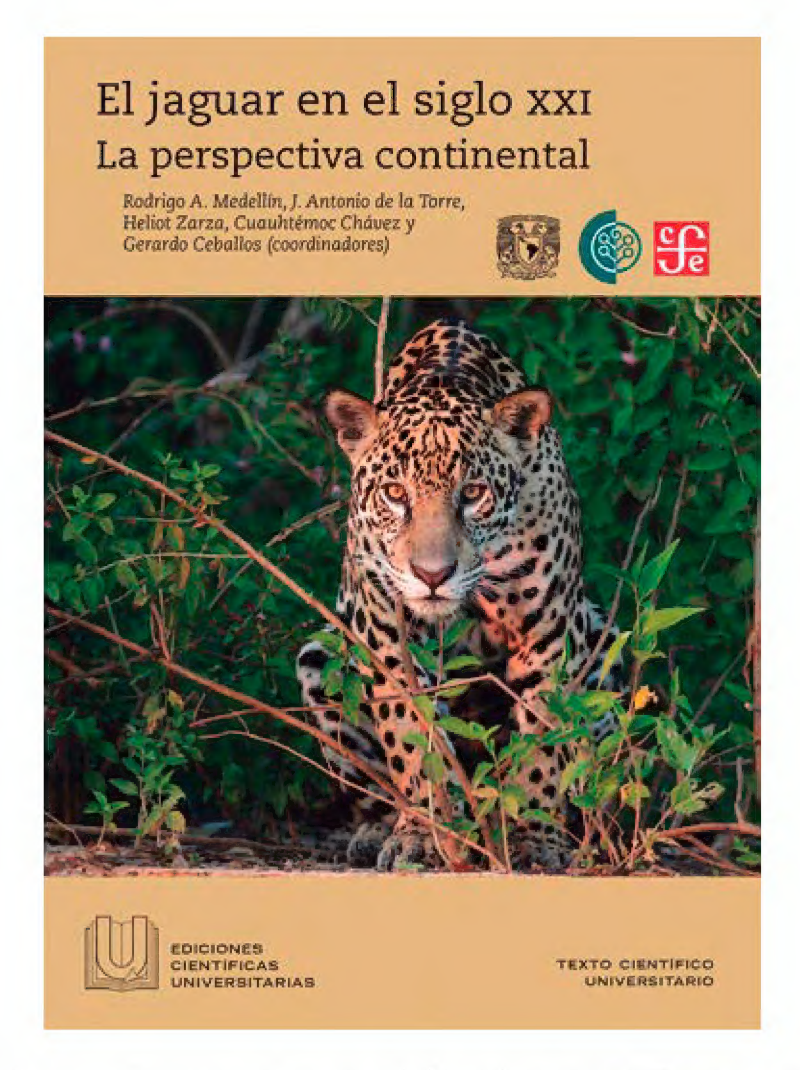
Tras las huellas del jaguar

César A. Domínguez y Esmeralda Osejo Brito

Medellín, Rodrigo A., J. Antonio de la Torre, Heliot Zarza, Cuauhtémoc Chávez y Gerardo Ceballos (coordinadores). *El jaguar en el siglo XXI: la perspectiva continental.* 2016. Fondo de Cultura Económica (FCE), Instituto de Ecología, UNAM. México. 543 pp. ISBN impreso: 978-607-16-3535-8. Costo: $665.00. ISBN electrónico: 978-607-16-4254-7. Costo: $399.00.

Desde tiempos inmemoriales, el majestuoso jaguar se ha enseñoreado en las selvas, pantanos, mangles y bosques de América, desde el sur de los Estados Unidos hasta la austral Argentina, adentrándose incluso en las zonas áridas del norte de México y los Estados Unidos. Este felino es símbolo de libertad, fuerza y misticismo, y ha tenido un papel primordial en la cosmovisión de las culturas ancestrales del continente americano, así como en el imaginario popular de las comunidades actuales. A pesar de su importancia, biológica, cultural y mística, la existencia del jaguar está amenazada por la invasión humana; tanto por las actividades productivas que reducen y fragmentan su hábitat, como por la caza de sus presas y de los jaguares mismos. Esta situación ha empujado al depredador más grande de la América Neotropical al borde de la extinción.

Perder al jaguar sería equivalente a perder al maíz. Desde el punto de vista biológico-ecológico, los jaguares son depredadores "tope", lo cual significa que juegan un papel fundamental al regular las poblaciones de otras especies que están en niveles inferiores de la cadena trófica. Por esta razón, su desaparición afectaría los procesos de regulación de las comunidades biológicas. En las últimas décadas se ha demostrado que la presencia de depredadores tiene un enorme impacto en el resto de la comunidad. Existe un fenómeno, conocido como la *ecología del miedo*, que se hizo evidente a partir del programa de reintroducción de lobos en el Parque nacional de Yellowstone en Estados Unidos; a partir de dicha reintroducción, diversas especies de árboles comenzaron a recuperarse por primera vez en 50 años, gracias a que los alces dejaron de comerse tantos retoños, puesto que permanecían más tiempo escondidos a causa del miedo a los lobos. En este caso se demostró que el impacto de los depredadores se extiende hasta el ciclaje de nutrientes y la composi-



ción de los microorganismos del suelo (ver *Yellowstone Wolves Reintroduce "Ecology of Fear"*).

El libro que aquí presentamos es una compilación del estado del conocimiento sobre el jaguar en 16 países, que incluye desde datos anecdóticos hasta estudios, reportes y proyectos de investigación relacionados con este felino. En esta compilación participan más de 80 autores, lo cual es, en sí mismo, un logro importante, ya que sólo a través de la colaboración internacional se logrará establecer una estrategia integral para conservar al emblemático jaguar y al conjunto de especies con las que comparte su hábitat (ya que se trata de una especie "paraguas").



Una *especie paraguas* es aquella que necesita grandes áreas para su preservación, de modo que al proteger esas áreas también se preserva a las especies más pequeñas que las habitan. A este fenómeno se le denomina "efecto paraguas", ya que la especie más grande cubre a las más pequeñas con un "paraguas" o "sombrilla" de protección. Para mayor referencia, ver: *The Costs of Large-Mammal Extinctions de Robert M. Pringle, en Conservation Biology for All* (Sodhi, Navjot S. y Paul R. Ehrlich, eds.). Oxford University Press: 52.

En 1999 la Wildlife Conservation Society y el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México organizaron un taller orientado a determinar el estatus de las poblaciones y las estrategias de conservación del jaguar a nivel continental. Los resultados de este importante ejercicio se publicaron en el libro *El jaguar en el nuevo milenio*, en el que se resumen las recomendaciones para lograr la conservación de este formidable felino. Entre las acciones sugeridas destacan el estudio de la distribución, demografía, ecología, genética de poblaciones, reproducción, salud y monitoreo de las poblaciones de jaguar, la creación de corredores que permitan el desplazamiento y el flujo entre poblaciones, la restauración del hábitat, la solución a los conflictos jaguar-humano, y la educación ambiental para lograr la toma de conciencia de todos los actores involucrados en su conservación. Estos parámetros sirvieron como una guía para elaborar los capítulos de este libro, y permitieron que los especialistas enmarcaran su contribución en función de la información disponible para cada país.

Catorce años después de la primera compilación del estado de conservación del jaguar, el libro que ahora nos ocupa, *El jaguar en el siglo XXI: la perspectiva continental*, ofrece un panorama actualizado de la situación del jaguar y propone una serie de prioridades y acciones para la protección de este felino. Tal como lo señala el famoso entomólogo y conservacionista Paul R. Ehrlich en el prólogo de este libro, el propósito fundamental de este trabajo es contribuir a la unificación y organización de esfuerzos a nivel internacional que conduzcan a la protección y recuperación del jaguar.

Un mapa internacional

El libro está compuesto por 19 capítulos, 17 de los cuales abordan diferentes aspectos sobre el estado del conocimiento y conservación del jaguar en 16 países del continente americano. Los capítulos están salpicados de información interesante para un lector no especializado; por ejemplo, la historia de cómo los jaguares colonizaron América. También nos dicen que hay alrededor de 30,000 jaguares en el continente, de los cuales 15,000 viven en el Amazonas y cerca de 4,000 en México. Belice, por otra parte, es el país con mayor densidad de jaguares y se resalta la importancia de la Selva Maya, el área de Centroamérica y el inmenso Amazonas, que son una gran esperanza para la conservación a largo plazo del jaguar.

Existe una marcada heterogeneidad entre capítulos en cuanto a calidad, extensión y profundidad de la información que aportan. La introducción habla, por ejemplo, del progreso del proyecto que inició en 1999 y lleva más de catorce años en operación (cuyos resultados se publicaron en el libro *El jaguar en el nuevo milenio*), mientras que el tercer capítulo habla de un reporte de 2013 que constituye, según palabras de sus autores, el primer esfuerzo por compilar en su totalidad la información disponible sobre el jaguar en Guatemala.

Sin embargo, encontramos también una serie de coincidencias entre los artículos cuando enlistan las principales amenazas que enfrenta el jaguar: la pérdida y fragmentación de hábitat, la falta de conectividad entre poblaciones, la caza y el conflicto con la ganadería. Asimismo, en prácticamente todos los casos, se resalta el papel crucial de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y de las tierras indígenas para la protección del jaguar. Estas coincidencias señalan la relevancia de los esfuerzos internacionales de conservación, así como el valor de los pueblos indígenas y su cosmovisión como elementos indispensables en la conservación del jaguar y de los espacios naturales.

La recopilación de toda la información disponible, actualizada y sistematizada sobre la biología y la conservación del jaguar, constituye una de las grandes aportaciones de esta obra. Esta información permitirá trazar un mapa a nivel continental que señale los puntos vulnerables, los *hot-spots* de conservación y las lagunas de protección del jaguar. Asimismo, esta información muestra cuáles son las acciones de conservación que han dado resultados positivos y deben fortalecerse y difundirse, y cuáles han sido esfuerzos infructuosos. Este análisis permitirá determinar las acciones y prioridades que cada país debe implementar para contribuir de manera conjunta a la conservación continental del jaguar. Si la heterogeneidad que se observa entre los diferentes capítulos es el resultado del conocimiento (o falta del mismo) que hay en cada país, entonces debe hacerse un esfuerzo extraordinario por obtener cuando menos la información básica de aquellos lugares en los que se carezca de información suficiente y que por su geografía resultan estratégicos para la conservación de esta especie.

Finalmente, quisiéramos señalar un par de puntos que, de ser posible, nos encantaría ver en una futura edición del libro: En primer lugar, una definición explícita de un protocolo estándar de investigación que unifique la metodología y los requerimientos mínimos de información que deberá obtener cada país. Esto permitirá establecer una base de datos continental, con información comparable y compatible, que sirva como punto de partida para establecer estrategias continentales de conservación y que se alinee con las políticas de cada país. Un esfuerzo de conservación que no esté limitado por las fronteras políticas entre los países resultará en la creación y/o protección de sitios para la conservación del jaguar, de corredores ecológicos que les permitan desplazarse a salvo y sin causar conflictos, y de estrategias que impulsen la educación y la transformación de conciencias.



En segundo lugar, sería deseable que una futura reedición del libro incluyera un capítulo final que sintetice, de manera analítica y muy gráfica, los principales hallazgos derivados de la compilación de toda esta información. Sería interesante contar con el análisis tanto por país, de manera individual, como en forma de diagnóstico general. Es decir, un capítulo que ofrezca una síntesis de la perspectiva continental a la que hace alusión el título.

Conclusión

Sin duda se trata de un libro que aporta mucho al futuro del jaguar; abre puertas y nos hace darnos cuenta de que todos podemos ayudar, incluso si no somos científicos. Es una victoria más en la lucha incansable para proteger a este magnífico ser, cuya imponente belleza nos ha acompañado durante tanto tiempo y cuyo futuro se encuentra en nuestras manos.

César A. Domínguez. Es investigador del Instituto de Ecología. Su trabajo se enfoca en biología evolutiva, en particular en la evolución de la sexualidad de las plantas y las interacciones bióticas.

Esmeralda Osejo Brito. Estudió la licenciatura en Lengua y Literaturas Modernas (Inglesas) en la UNAM, con especialización en traducción. Actualmente trabaja haciendo traducción, corrección de estilo y asistencia editorial en el Instituto de Ecología de la UNAM.



VIII DIPLOMADO EN

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

DEL BOSQUE DE NIEBLA 2018

online / presencial

Fechas: **Del 21 de marzo al 20 julio de 2018**
Informes: **+52 (228) 186 55 48**
ecoforestal@pronaturaveracruz.org
Inscripciones: **www.pronaturaveracruz.org**

Módulo I. Bases biológicas para la restauración ecológica

Módulo II. Bases conceptuales para la restauración

Módulo III. Técnicas de apoyo para la restauración

Módulo IV. Cambio climático y monitoreo

Módulo V. Sociedad y restauración ecológica

BECAS DISPONIBLES
HASTA EL 9 DE MARZO

*Este diplomado tiene fines académicos no lucrativos.
Las cuotas de recuperación servirán para cubrir gastos de operación, mantenimiento de la estructura y soportes pedagógicos.

Cuota de recuperación: $11,000 MXN* / $700 USD









